book HUMANITAS

LEE SMOLIN

DE LA CRIZA FIZICII LA VIITORUL UNIVERSULUI

O carte provocatoare, originală și tulburătoare.
—*THE NEW YORK REVIEW OF BOOKS*

TIMPUL RENĂSCUT

Lee Smolin (n. 1955) este una dintre figurile proeminente ale fizicii teoretice şi cosmologiei. Împreună cu Carlo Rovelli, a lucrat la o promițătoare tentativă de a unifica mecanica cuantică şi relativitatea generală, teorie numită gravitația cuantică cu bucle. A lansat ipoteza selecției naturale cosmologice, susținând că un proces analog selecției naturale din biologie are loc şi la scara universului. A avut de asemenea contribuții în interpretarea mecanicii cuantice, fizica particulelor elementare, biologia teoretică şi filozofia fizicii. Este cofondator al Institutului Perimeter şi autorul unor cărți în care prezintă publicului larg ideile sale științifice: *The Life of the Cosmos* (1997), *Three Roads to Quantum Gravity* (2001), *The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next* (2006), *Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe* (2013), *Einstein's Unfinished Revolution: The Search for What Lies Beyond the Quantum* (2019).

LEE SMOLIN

TIMPUL RENĂSCUT

DE LA CRIZA FIZICII LA VIITORUL UNIVERSULUI

Traducere din engleză
de Walter Fotescu

Pentru părinții mei,
Pauline şi Michael
Cu multe mulțumiri lui
Roberto Mangabeira Unger
pentru o călătorie împărtăşită

Toate lucrurile provin
unele dintr-altele,
şi dispar unele într-altele
potrivit necesității […],
în conformitate cu ordinea
timpului.
—ANAXIMANDRU,
DESPRE NATURĂ

Cuprins

Prefaţă
Introducere
PARTEA I. Greutatea: Eliminarea timpului
- 1. Căderea
- 2. Dispariţia timpului
- 3. Un joc cu mingea
- 4. A face fizică într-o cutie
- 5. Eliminarea noului şi a surprizei
- 6. Relativitate şi atemporalitate
- 7. Cosmologia cuantică şi sfârşitul timpului

PARTEA A II-A. Lumina: timpul renăscut
- Interludiu
- 8. Eroarea cosmologică
- 9. Provocarea cosmologică
- 10. Principii pentru o cosmologie nouă
- 11. Evoluţia legilor
- 12. Mecanica cuantică şi eliberarea atomului
- 13. Bătălia dintre relativitate şi cuante
- 14. Timpul renăscut din relativitate
- 15. Emergenţa spaţiului
- 16. Viaţa şi moartea universului

17. Timpul renăscut din căldură şi lumină
18. Spaţiu infinit, sau timp infinit?
19. Viitorul timpului
Epilog. Nemulţumirea lui Einstein
Note
Bibliografie
Mulţumiri

Prefață

Ce este timpul?

Întrebarea aceasta de o simplitate înşelătoare este cea mai importantă problemă cu care se confruntă ştiința atunci când examinăm mai în profunzime aspectele fundamentale ale universului. Toate misterele cu care se confruntă fizicienii şi cosmologii – de la big bang la viitorul universului, de la enigmele fizicii cuantice la unificarea forțelor şi particulelor – se reduc în ultimă instanță la natura timpului.[1]

Progresul ştiinței a fost marcat de înlăturarea iluziilor. Materia pare continuă, dar se dovedeşte a fi alcătuită din atomi. Atomii par indivizibili, dar se dovedesc a fi construiți din protoni, neutroni şi electroni, dintre care primii doi sunt alcătuiți din particule şi mai simple numite cuarci. Soarele pare că se roteşte în jurul Pământului, dar de fapt e invers – iar la o analiză atentă se constată că orice lucru se mişcă în raport cu oricare altul.

Timpul este aspectul cel mai universal al experienței noastre de zi cu zi. Tot ce

gândim, simțim sau facem ne reaminteşte de existența lui. Percepem lumea ca pe o curgere de momente ce alcătuiesc viața noastră. Dar deopotrivă fizicienii şi filozofii ne spun de mult (şi mulți oameni cred) că timpul este suprema iluzie.

Când îi întreb pe prietenii mei care nu sunt oameni de ştiință ce cred ei că este timpul, deseori îmi răspund că trecerea lui este înşelătoare şi că tot ce este într-adevăr real – adevărul, dreptatea, divinul, legile ştiințifice – se situează în afara sa. Ideea că timpul este o iluzie e o platitudine filozofică şi religioasă. Vreme de milenii, oamenii s-au împăcat cu greutățile vieții şi cu faptul că sunt muritori, crezând în posibilitatea unei evadări finale către o lume atemporală mai reală.

Unii dintre gânditorii cei mai iluştri afirmă irealitatea timpului. Atât Platon, cel mai mare filozof al lumii antice, cât şi Einstein, cel mai mare fizician al lumii moderne, au susținut o perspectivă asupra naturii în care realul e atemporal. Ei au văzut în experiența timpului un accident al condiției noastre de ființe umane – un accident care ne ascunde adevărul. Amândoi au crezut că iluzia timpului trebuie depăşită pentru a percepe ce este real şi adevărat.

Cândva şi eu am crezut în irealitatea esențială a timpului. Într-adevăr, m-am apucat de fizică deoarece în adolescență năzuiam să schimb lumea oamenilor, supusă timpului, care mi se părea urâtă şi neprimitoare, cu o lume pură a adevărului etern. Mai târziu, am descoperit că e destul de plăcut să fii om, iar nevoia evadării în transcendent s-a atenuat.

Mai concret, nu mai cred că timpul este ireal. De fapt, am adoptat perspectiva opusă: nu doar că timpul este real, dar nimic din ce ştim sau percepem nu se apropie mai mult de esența naturii decât realitatea timpului.

Motivele mele pentru această *volte-face*[2] se află în ştiință – şi, în particular, în progresele moderne din fizică şi cosmologie. Am ajuns să cred că timpul este cheia pentru semnificația teoriei cuantice şi unificarea ei finală cu spațiul, timpul, gravitația şi cosmologia. Cel mai important, cred că pentru a înțelege imaginea universului pe care ne-o aduc observațiile cosmologice, trebuie să acceptăm realitatea timpului într-un mod nou. Este ceea ce înțeleg eu prin renaşterea timpului.

O mare parte din cartea aceasta prezintă argumente ştiințifice pentru a crede în realitatea timpului. Dacă sunteți printre cei

mulți care cred că timpul e o iluzie, îmi propun să vă schimb părerea. Dacă deja credeți că timpul este real, sper să vă ofer motive mai bune pentru credința voastră.

Aceasta este o carte pentru toți, fiindcă nu există nimeni a cărui perspectivă asupra lumii să nu fie modelată de felul cum înțelege timpul. Chiar dacă nu ai reflectat niciodată asupra semnificației sale, gândirea ta – însuşi limbajul cu care îți exprimi gândurile – este colorată de vechi idei metafizice despre timp.

Când adoptăm viziunea revoluționară că timpul este real, felul în care concepem toate celelalte lucruri se va schimba. Vom tinde să vedem viitorul într-un mod nou, care evidențiază cu claritate atât ocaziile favorabile, cât şi pericolele cu care se confruntă specia umană.

O mică parte din povestea acestei cărți este călătoria personală care m-a condus la redescoperirea timpului. Motivația mea inițială poate fi cel mai bine descrisă nu în limbajul ştiinței, ci al paternității, prin conversațiile pe care le-am avut cu tânărul meu fiu, mai ales atunci când îl duceam seara la culcare. „Tăticule“, m-a întrebat el odată în timp ce-i citeam, „aveai numele meu când erai de vârsta mea?“ Era un copil care

începea să înțeleagă că a existat un timp înaintea lui şi încerca să asocieze scurta poveste a vieții sale de până atunci cu o epică mult mai lungă.

Orice călătorie te învață o lecție, iar a mea a fost să-mi dau seama ce idee radicală e conținută în simpla afirmație că timpul este real. Mi-am început viața în ştiință căutând ecuația care transcende timpul, dar acum cred că secretul cel mai profund al universului este că esența sa constă în felul cum evoluează în timp clipă de clipă.

*

Există un paradox inerent în modul cum concepem timpul. Ne percepem trăind în timp, şi totuşi deseori ne imaginăm că cele mai bune aspecte ale lumii şi noi înşine îl transcendem. Ceea ce face ca un lucru să fie realmente adevărat, credem noi, nu este că el e adevărat acum, ci că întotdeauna a fost şi întotdeauna va fi adevărat. Ceea ce face ca un principiu moral să fie absolut este că el e valabil oricând şi în orice împrejurare. Se pare că avem ideea adânc înrădăcinată că dacă ceva are valoare, atunci acel ceva există în afara timpului. Tânjim după „iubirea eternă“. Vorbim despre „adevăr“ şi „dreptate“ ca şi cum ar fi atemporale. Tot ce

admirăm şi venerăm cel mai mult – Dumnezeu, adevărurile matematicii, legile naturii – este înzestrat cu o existență care transcende timpul. Acționăm în timp, dar ne judecăm acțiunile după standarde atemporale.

Ca rezultat al acestui paradox, trăim într-o stare de alienare față de lucrurile pe care le prețuim cel mai mult. Alienarea aceasta ne afectează toate aspirațiile. În ştiință, experimentele şi analizele lor sunt supuse timpului, la fel ca toate observațiile noastre asupra naturii, şi totuşi ne imaginăm că descoperim dovada unor legi ale naturii atemporale. Paradoxul afectează şi acțiunile noastre ca indivizi, membri de familie şi cetățeni, fiindcă modul cum înțelegem timpul determină felul în care gândim despre viitor.

În cartea aceasta sper să rezolv într-un mod nou paradoxul de a trăi în timp şi a crede în atemporal. Voi propune ideea că timpul şi trecerea lui sunt fundamentale şi reale, iar speranțele şi credințele despre adevăruri eterne şi tărâmuri eterne sunt mitologie.

Acceptarea timpului înseamnă a crede că realitatea constă doar în ceea ce este real în fiecare moment. Aceasta e o idee radicală, întrucât neagă orice tip de existență sau

adevăr etern – fie în domeniul ştiinței, al moralei, al matematicii sau al guvernării. Toate acestea trebuie reconceptualizate, pentru a încadra adevărurile lor în timp.

Acceptarea timpului înseamnă de asemenea că presupunerile noastre esențiale privind modul cum funcționează universul la nivel fundamental sunt incomplete. Atunci când, în paginile care urmează, afirm că timpul este real, ceea ce spun este că:

– Tot ce este real în universul nostru este real la un moment de timp, care este unul dintr-o succesiune de momente.

– Trecutul a fost real, dar nu mai este real. Putem totuşi să interpretăm şi să analizăm trecutul, deoarece găsim în prezent dovezi ale unor procese din trecut.

– Viitorul nu există încă, şi prin urmare e deschis. Putem face în mod rezonabil unele predicții, dar nu putem prezice complet viitorul. Într-adevăr, viitorul poate să producă fenomene autentic noi, în sensul că nici o cunoaştere a trecutului nu le-ar putea anticipa.

– Nimic nu transcende timpul, nici măcar legile naturii. Legile nu sunt atemporale. La fel ca orice altceva, ele sunt trăsături ale prezentului şi pot să evolueze în timp.

Pe parcursul acestei cărți, vom vedea că aceste ipoteze indică o direcție nouă pentru fizica fundamentală – despre care eu susțin că e singura cale de ieşire din actualele dificultăți ale fizicii teoretice şi cosmologiei. Ele au de asemenea implicații pentru felul cum înțelegem propriile noastre vieți şi cum abordăm provocările cu care se confruntă omenirea.

Pentru a explica de ce realitatea timpului este atât de bogată în consecințe, atât pentru ştiință, cât şi pentru chestiuni din afara sa, îmi place să compar gândirea în timp cu gândirea în afara timpului. Ideea că adevărul este etern şi cumva exterior universului e atât de larg răspândită, încât filozoful brazilian Roberto Mangabeira Unger o numeşte „filozofia perenă“. Ea a fost esența gândirii lui Platon, exemplificată în parabola din dialogul *Menon* despre băiatul sclav şi geometria pătratului, în care Socrate arată că orice descoperire este doar reamintire.

Gândim în afara timpului atunci când ne imaginăm că răspunsul la orice întrebare asupra căreia reflectăm există undeva într-un domeniu etern al adevărului atemporal. Fie că problema este cum să fim părinți, soți sau cetățeni mai buni, sau care ar fi modul optim

de organizare a societății, credem că undeva există ceva invariabil adevărat pe care noi trebuie să-l descoperim.

Oamenii de ştiință gândesc în timp atunci când cred că sarcina lor este de a inventa idei noi care să descrie fenomenele nou descoperite, şi structuri matematice noi pentru a le exprima. Dacă gândim în afara timpului, credem că într-un fel sau altul ideile acestea au existat şi înainte ca noi să le fi inventat. Dacă gândim în timp, nu vedem nici un motiv să presupunem asta.

Contrastul dintre a gândi în timp şi în afara timpului este vizibil în multe domenii ale gândirii şi acțiunii umane. Gândim în afara timpului atunci când, confruntați cu o problemă tehnologică sau socială, presupunem că abordările posibile sunt deja determinate, ca un set de categorii absolute, pre-existente. Oricine crede că teoria corectă a economiei sau a politicii a fost scrisă în secolul penultim gândeşte în afara timpului. Dimpotrivă, dacă considerăm că scopul politicii este să inventeze soluții noi la problemele noi care apar pe măsură ce societatea evoluează, gândim în timp. Tot în timp gândim şi atunci când înțelegem că progresul în tehnologie, societate şi ştiință constă în a inventa idei, strategii şi forme de

organizare socială cu adevărat noi – şi avem încredere în capacitatea noastră de a face lucrul acesta.

Când acceptăm fără să crâcnim constrângerile, obiceiurile şi birocrațiile diverselor noastre comunități şi organizații ca şi cum existența lor ar avea o motivație absolută, suntem captivi în afara timpului. Reintrăm în timp atunci când ne dăm seama că orice trăsătură a unei organizații umane este rezultatul unei istorii, aşa încât totul în privința ei este negociabil şi supus ameliorării prin inventarea unor noi moduri de acțiune.

Dacă credem că sarcina fizicii este descoperirea unei ecuații matematice atemporale care să capteze toate aspectele universului, atunci credem că adevărul despre univers se află în afara lui. Aceasta e o obişnuință de gândire atât de familiară, încât nu-i vedem absurditatea: dacă universul este tot ceea ce există, atunci cum poate exista ceva în afara lui prin care să fie descris? Dar dacă considerăm realitatea timpului ca evidentă, atunci nici o ecuație matematică nu poate capta perfect toate aspectele lumii, fiindcă o proprietate a lumii

reale pe care nici o ecuație matematică nu o împărtăşeşte este că întotdeauna este un anumit moment.

Biologia evoluționistă darwinistă este prototipul gândirii în timp, fiindcă în centrul ei se află conştientizarea faptului că procesele naturale care evoluează în timp pot duce la crearea unor structuri cu adevărat noi. Pot apărea chiar şi legi noi, atunci când iau ființă structurile cărora li se aplică. Principiile selecției sexuale, de exemplu, nu puteau exista înainte de apariția sexelor. Dinamica evoluționistă nu are nevoie de spații abstracte vaste, ca de pildă toate animalele viabile, secvențele ADN, seturile de proteine sau legile biologice posibile. E de preferat, aşa cum propune biologul Stuart A. Kauffman, să ne gândim la dinamica evoluționistă ca la explorarea în timp de către biosferă a ceea ce se poate întâmpla în continuare: „posibilul adiacent“. Acelaşi lucru este valabil pentru evoluția tehnologiilor, a economiilor şi a societăților.

Gândirea în timp nu e relativism, ci o formă de *relaționism* – o filozofie care afirmă că descrierea cea mai adevărată a ceva constă în specificarea relațiilor sale cu celelalte părți ale sistemului din care face parte. Adevărul poate fi deopotrivă supus

timpului şi obiectiv atunci când se referă la obiecte care există odată ce au fost inventate de evoluție sau de gândirea omenească.

La nivel personal, a gândi în timp înseamnă a accepta incertitudinea vieții ca preț necesar pentru a fi viu. A te răzvrăti împotriva caracterului precar al vieții, a respinge incertitudinea, a adopta o toleranță zero față de risc, a-ți imagina că viața poate fi organizată aşa încât pericolul să fie complet eliminat înseamnă a gândi în afara timpului. A fi om înseamnă a trăi suspendat între pericol şi oportunitate.

Ne dăm toată silința să prosperăm într-o lume nesigură, să avem grijă de ceea ce şi de cei pe care îi iubim, iar între timp din când în când ne simțim bine. Facem planuri, dar niciodată nu putem anticipa în întregime pericolele sau oportunitățile care ne aşteaptă. Budiştii spun că locuim într-o casă care arde, dar noi încă nu am observat. Pericolul poate să apară oricând, iar în societățile de vânători-culegători era omniprezent, dar în viața modernă am organizat lucrurile aşa încât, prin comparație, e rar. Dificultatea în viață este să alegi cu înțelepciune, din numărul enorm de pericole posibile, pe cele pentru care merită să-ți faci griji; şi de asemenea să alegi, dintre toate oportunitățile

pe care le aduce fiecare moment, ce să faci în continuare. Alegem unde să ne investim energia şi atenția – întotdeauna în condițiile unei cunoaşteri incomplete a consecințelor.

Am putea proceda mai bine? Am putea depăşi capriciile vieții şi atinge o stare în care să ştim, dacă nu totul, suficient pentru a vedea toate consecințele opțiunilor noastre – atât pericolele, cât şi oportunitățile? Altfel spus, am putea trăi o viață cu adevărat rațională, fără surprize? Dacă timpul ar fi o iluzie, ne-am putea imagina că acest lucru e posibil, fiindcă într-o lume în care timpul e neesențial nu ar exista nici o deosebire fundamentală între cunoaşterea prezentului şi cunoaşterea viitorului. Nişte calcule în plus ar fi de ajuns. Un număr, o formulă ar putea fi calculate şi decodate pentru a ne spune tot ce avem nevoie să ştim.

Dar dacă timpul este real, viitorul nu poate fi determinat din cunoaşterea prezentului. Nu există nici o scăpare din situația noastră, nici o eliberare de surprizele datorate faptului că ignorăm majoritatea consecințelor acțiunilor noastre. Surpriza e inerentă în structura lumii. Natura ne poate rezerva surprize pentru care nici o cunoaştere, oricât de vastă, nu ne-a pregătit. Noutatea este reală. Putem crea cu ajutorul

imaginației rezultate imposibil de dedus din cunoaşterea prezentului. De aceea contează pentru fiecare dintre noi dacă timpul este real sau nu: răspunsul poate schimba felul cum percepem situația noastră de căutători ai fericirii şi semnificației într-un univers în mare măsură necunoscut. Voi reveni asupra acestor teme în epilog, unde sugerez că realitatea timpului ne poate ajuta să reflectăm asupra unor provocări precum schimbările climatice şi criza economică.

Înainte să abordăm principala temă a cărții, iată câteva recomandări.

Am încercat să fac argumentele din această carte accesibile cititorului obişnuit, fără o pregătire în fizică sau matematică. Nu sunt ecuații şi tot ce trebuie ştiut pentru a-mi urmări argumentele este explicat. Chestiunile esențiale sunt ilustrate cu cele mai simple exemple posibile. Când abordăm subiecte mai sofisticate, cititorii sunt sfătuiți, dacă nu înțeleg, să facă ceea ce învață oamenii de ştiință să facă, adică să parcurgă în grabă sau să sară înainte până într-un punct unde textul devine mai clar pentru ei. Cititorii care doresc mai multe informații pot consulta cele câteva anexe disponibile on-line la www.time reborn.com. Cititorul poate găsi de asemenea util să consulte notele, care

conțin citate, observații utile pentru profani sau pentru experți şi discuții suplimentare în măsură să-i intereseze pe unii cititori.

Propria mea călătorie de întoarcere la timp a durat mai bine de douăzeci de ani, de la recunoaşterea faptului că legile trebuie explicate prin evoluția lor, trecând prin strădaniile mele cu relativitatea, fundamentele fizicii cuantice şi gravitația cuantică, care m-au condus în cele din urmă la perspectiva prezentată aici. Colaborările şi conversațiile cu mai mulți prieteni şi colegi au fost esențiale pentru progresul meu pe acest drum; ele sunt detaliate în Mulțumiri şi Note, la fel ca utilizarea rezultatelor şi ideilor altora. Nici una dintre aceste interacțiuni nu a fost mai importantă decât o colaborare rodnică şi stimulativă cu Roberto Mangabeira Unger, pe durata căreia am formulat principalul argument şi multe dintre ideile esențiale care urmează.[1]

Cititorii trebuie să fie conştienți că există multe puncte de vedere asupra timpului, teoriei cuantice, cosmologiei şi altor asemenea subiecte care nu sunt discutate aici. Există o literatură vastă scrisă de fizicieni, cosmologi şi filozofi privitoare la chestiunile pe care le abordez. Aceasta nu se

pretinde a fi o carte academică. Am ales să le ofer cititorilor aflați poate la prima lor întâlnire cu acest domeniu de discuții o cale de acces prin terenul său complex, subliniind unele dintre argumentele sale centrale.[2] Există (pentru a da un exemplu) rafturi pline cu scrieri care analizează ideile lui Kant despre spațiu şi timp, pe care nu le menționez aici. După cum nu prezint nici unele idei ale filozofilor contemporani. Le cer iertare prietenilor mei eruditi pentru aceste omisiuni, şi-l îndrum pe cititorul interesat către bibliografie, care conține sugestii pentru lecturi ulterioare despre timp.

Lee Smolin
Toronto, august 2012

---

1. Pentru alte perspective decât cea a lui Lee Smolin privind natura timpului, vezi Richard Muller, *Acum: Fizica timpului* (Humanitas, Bucureşti, 2019), Carlo Rovelli, *Şi dacă timpul n-ar exista?* (Humanitas, Bucureşti, 2022) şi *Ordinea timpului* (Humanitas, Bucureşti, 2018) (n. red.).

2. Schimbare radicală, întoarcere cu 180 de grade; în limba franceză în original (n. tr.).

Introducere

Probele ştiinţifice că timpul este o iluzie sunt formidabile. De aceea adoptarea ideii că timpul este real are consecinţe revoluţionare.

Principalul argument al fizicienilor împotriva timpului se bazează pe modul cum înţelegem ce este o lege a fizicii. Potrivit concepţiei dominante, tot ce se întâmplă în univers este determinat de o lege care dictează cu precizie cum evoluează viitorul din prezent. Legea este absolută, iar odată specificate condiţiile prezente, nu există nici o libertate sau incertitudine în felul cum va evolua viitorul.

Aşa cum Thomasina, eroina precoce din piesa lui Tom Stoppard[3] *Arcadia*, îi explică preceptorului ei: „Dacă ai putea opri fiecare atom în poziţia şi direcţia lui, şi dacă mintea ta ar putea înţelege toate acţiunile astfel suspendate, şi dacă ai fi foarte, foarte bun la algebră, atunci ai putea scrie formula pentru întregul viitor; şi deşi nimeni nu este atât de deştept încât să poată face asta, formula trebuie să existe ca şi cum cineva ar putea.“ Cândva credeam că sarcina mea ca fizician

teoretician era să găsesc acea formulă; acum consider credința mea în existența ei mai curând misticism decât ştiință.

Dacă ar fi scris replici pentru un personaj modern, Stoppard ar fi pus-o pe Thomasina să spună că universul este asemenea unui calculator. Legile fizicii sunt programul. Dacă-i furnizezi datele de intrare – pozițiile actuale ale tuturor particulelor elementare din univers –, calculatorul funcționează un anumit timp, după care îți oferă datele de ieşire, care sunt pozițiile tuturor particulelor elementare la un moment viitor. În viziunea aceasta asupra naturii, nu se întâmplă nimic altceva decât rearanjarea particulelor conform unor legi atemporale; prin urmare, potrivit acestor legi viitorul este deja complet determinat de prezent, la fel cum prezentul a fost determinat de trecut.

Viziunea aceasta diminuează rolul timpului în mai multe moduri.[1] Nu pot exista surprize sau fenomene cu adevărat noi, fiindcă tot ce se întâmplă este rearanjarea atomilor. Proprietățile atomilor sunt atemporale, la fel şi legile care-i controlează; nici una nu se modifică vreodată. Orice caracteristică a lumii la un moment viitor poate fi calculată din configurația sa prezentă. Altfel spus, trecerea timpului poate

fi înlocuită printr-un calcul, ceea ce înseamnă că viitorul este o consecință logică a prezentului.

Teoriile relativității ale lui Einstein aduc argumente încă şi mai puternice că timpul e neesențial pentru o descriere fundamentală a lumii, aşa cum voi discuta în capitolul 6. Relativitatea sugerează ferm că întreaga istorie a lumii este o unitate atemporală; prezentul, trecutul şi viitorul nu au nici o semnificație separată de subiectivitatea umană. Timpul este doar o altă dimensiune a spațiului, iar senzația pe care ne-o produce scurgerea momentelor este o iluzie în spatele căreia se află o realitate eternă.

Afirmațiile acestea pot părea înspăimântătoare pentru toți cei a căror viziune asupra lumii lasă loc liberului-arbitru sau factorului uman. Nu mă voi angaja aici în această dispută; pledoaria mea pentru realitatea timpului se bazează exclusiv pe ştiință. Sarcina mea va fi să explic de ce argumentele uzuale în favoarea unui viitor predeterminat sunt greşite din punct de vedere ştiințific.

În partea I voi prezenta probele ştiințifice pentru a crede că timpul este o iluzie. În partea a II-a voi demola acele argumente şi voi arăta de ce timpul trebuie considerat real

dacă vrem ca fizica fundamentală şi cosmologia să depăşească crizele cu care se confruntă în prezent.

Pentru a încadra argumentația din partea I, urmăresc evoluția conceptelor de timp folosite în fizică, de la Aristotel şi Ptolemeu, trecând prin Galilei, Newton şi Einstein, până la cosmologii cuantici contemporani, şi arăt modul cum conceptul de timp a fost diminuat, pas cu pas, odată cu progresul fizicii. Spunând povestea în felul acesta am posibilitatea să prezint treptat materialul de care cititorul profan are nevoie pentru a înțelege argumentația. Într-adevăr, aspecte esențiale pot fi prezentate cu ajutorul unor exemple obişnuite, mingi care cad şi planete în mişcare orbitală. Partea a II-a spune o poveste mai aproape de zilele noastre, deoarece argumentul că timpul trebuie reintrodus în miezul ştiinței a apărut ca rezultat al unor progrese recente.

Argumentația mea porneşte de la o observație simplă: succesul teoriilor ştiințifice de la Newton şi până în prezent se bazează pe utilizarea unui cadru explicativ specific inventat de Newton. Potrivit acestui cadru, natura e alcătuită doar din particule cu proprietăți atemporale, ale căror mişcări şi interacțiuni sunt determinate de legi

atemporale. Proprietățile particulelor – de exemplu, masele şi sarcinile electrice – nu se schimbă niciodată, şi nici legile care acționează asupra lor. Cadrul acesta e ideal pentru a descrie părți mici ale universului, dar el *se destramă dacă încercăm să-l aplicăm întregului univers*.

Toate teoriile importante ale fizicii se referă la părți ale universului – un aparat de radio, o minge în zbor, o celulă biologică, Pământul, o galaxie. Când descriem o parte a universului, noi înşine şi instrumentele noastre de măsură rămânem în afara sistemului. Omitem rolul nostru în selectarea sau prepararea sistemului pe care îl studiem. Omitem reperele care servesc la stabilirea poziției sistemului. Şi, cel mai important pentru preocuparea noastră legată de natura timpului, omitem ceasurile cu care măsurăm schimbarea în sistem.

Încercarea de a extinde fizica la cosmologie aduce provocări noi care necesită o gândire proaspătă. O teorie cosmologică nu poate omite nimic. Pentru a fi completă, ea trebuie să ia în considerare totul în univers, inclusiv pe noi înşine ca observatori. Trebuie să țină seama de ceasurile şi instrumentele noastre de măsură. Când facem cosmologie, ne confruntăm cu o condiție nouă: este

imposibil să ieşim din sistemul pe care-l studiem atunci când acel sistem este întregul univers.

În plus, o teorie cosmologică trebuie să se descurce fără două aspecte importante de metodologie a ştiinței. O regulă de bază în ştiință este că un experiment trebuie efectuat de multe ori pentru a fi siguri de rezultat. Dar nu putem face asta cu universul în ansamblu – universul se petrece o singură dată. Nici nu putem prepara sistemul în diverse moduri şi să studiem consecințele. Acestea sunt handicapuri reale, care fac ca demersul ştiințific la nivelul întregului univers să fie mult mai dificil.

Cu toate acestea, vrem să extindem fizica la o ştiință a cosmologiei. Primul imbold e să luăm teoriile care au funcționat atât de bine când au fost aplicate unor părți mici ale universului şi să le mărim scara pentru a descrie tot universul. Aşa cum voi arăta în capitolele 8 şi 9, acest lucru nu e posibil. Cadrul newtonian – legi atemporale acționând asupra unor particule cu proprietăți atemporale – este inadecvat pentru sarcina de a descrie întregul univers.

Într-adevăr, aşa cum voi arăta în detaliu, tocmai acele trăsături care asigură succesul acestui tip de teorii, când sunt aplicate unor

părți mici ale universului, le fac să eşueze atunci când încercăm să le aplicăm universului în ansamblul lui.

Îmi dau seama că afirmația aceasta contravine practicii şi speranțelor multor colegi, dar nu cer decât ca cititorul să acorde toată atenția pledoariei mele din partea a II-a. Acolo voi demonstra în general, şi voi ilustra printr-un exemplu specific, că, atunci când încercăm să extrapolăm teoriile noastre standard la o teorie cosmologică, suntem răsplătiți cu dileme, paradoxuri şi întrebări fără răspuns. Printre acestea este eşecul oricărei teorii standard de a explica alegerile din universul timpuriu – alegerea condițiilor inițiale, precum şi a înseşi legilor naturii.

O parte din literatura cosmologică contemporană constă din eforturile unor oameni foarte inteligenți de a rezolva aceste dileme, paradoxuri şi întrebări fără răspuns. Ideea că universul nostru este parte a unui multivers vast sau infinit este populară – fapt de înțeles, întrucât ea se bazează pe o eroare metodologică în care e uşor să cazi. Teoriile noastre actuale pot funcționa la nivelul universului numai dacă universul nostru e un subsistem al unui sistem mai mare. Aşa încât inventăm un mediu fictiv şi-l umplem cu alte universuri. Aceasta nu poate duce la nici un

progres ştiințific real, fiindcă nu putem confirma sau infirma nici o ipoteză asupra unor universuri deconectate cauzal de al nostru.[2]

Scopul acestei cărți este să sugereze că există o altă cale. Trebuie s-o luăm de la început şi să pornim în căutarea unui nou tip de teorie care să poată fi aplicată întregului univers – o teorie care evită confuziile şi paradoxurile, răspunde întrebărilor fără răspuns şi generează predicții fizice autentice pentru observațiile cosmologice.

Nu am o astfel de teorie, dar ce pot să ofer este un set de principii care să ghideze căutarea ei. Acestea sunt prezentate în capitolul 10. În capitolele care urmează, voi ilustra modul în care principiile pot să inspire noi ipoteze şi modele de univers care indică drumul către o adevărată teorie cosmologică. Principiul central este că timpul trebuie să fie real, iar legile fizice trebuie să evolueze în acel timp real.

Ideea unor legi care evoluează în timp nu este nouă, şi nici ideea că o ştiință cosmologică va avea nevoie de ele.[3] Filozoful american Charles Sanders Peirce scria în 1891:

A presupune nişte legi ale naturii universale pe care mintea le poate înțelege, dar pentru ale căror forme speciale nu există nici un motiv, ele rămânând inexplicabile şi iraționale, este o poziție greu de justificat. Uniformitățile sunt exact genul de fapte care au nevoie de explicație […]. Legea este prin excelență lucrul care are nevoie de un temei. Singurul mod posibil de a explica legile naturii şi uniformitatea în general e să presupunem că ele sunt rezultatul evoluției.[4]

Filozoful contemporan Roberto Mangabeira Unger a proclamat mai recent:

> Poți urmări înapoi în timp proprietățile universului prezent până la proprietățile pe care trebuie să le fi avut la început. Dar nu poți dovedi că acestea sunt singurele proprietăți pe care orice univers trebuie să le aibă. […] Universuri anterioare sau ulterioare ar putea avea legi complet diferite. […] A enunța legile naturii nu înseamnă a descrie sau a explica toate istoriile posibile ale tuturor universurilor

> posibile. Există doar o distincție relativă între explicația legică şi relatarea unei secvențe istorice unice.[5]

Paul Dirac, considerat împreună cu Einstein şi Niels Bohr printre cei mai importanți fizicieni ai secolului XX, a lansat următoarea ipoteză: „La începutul timpului probabil că legile Naturii au fost foarte diferite față de cele din prezent. De aceea trebuie să considerăm că legile Naturii se modifică în permanență odată cu epoca, în loc să rămână constante pe tot cuprinsul spațiului-timp.“[6] John Archibald Wheeler, unul dintre marii fizicieni americani, a presupus şi el că legile au evoluat. El a propus că big bang-ul a fost unul dintr-o serie de evenimente în care legile fizicii au fost reprocesate. A scris de asemenea: „Nu există nici o lege, cu excepția legii că nu există nici o lege.“[7] Chiar şi Richard Feynman, alt mare fizician american, studentul lui Wheeler, a reflectat odată într-un interviu: „Singurul domeniu care nu a admis nici o problemă de evoluție este fizica. Iată legile, spunem noi […], dar cum au ajuns ele astfel, în timp? […] Aşadar, s-ar putea dovedi că [legile] nu sunt aceleaşi tot timpul şi că există o problemă istorică, de evoluție.“[8]

În cartea mea din 1997 *The Life of the Cosmos* am propus un mecanism pentru evoluția legilor, pe care l-am modelat după evoluția biologică.[9] Am presupus că universurile se pot reproduce formând universuri-copil [*baby universes*] în interiorul găurilor negre, şi am postulat că, de fiecare dată când se întâmplă lucrul acesta, legile fizicii suferă o uşoară modificare. În această teorie, legile au jucat rolul genelor în biologie; un univers era considerat expresia unei alegeri a legilor făcute în momentul formării sale, la fel cum un organism este o expresie a genelor sale. La fel ca genele, legile pot suferi mutații aleatorii de la o generație la alta. Inspirat de rezultate pe atunci recente ale teoriei corzilor, am presupus că încercarea de a găsi o teorie unificată fundamentală va duce nu la o singură Teorie despre Tot [*Theory of Everything*], ci la un spațiu vast de legi posibile. L-am numit peisajul teoriilor [*landscape of theories*], adoptând limbajul din genetica populațiilor, ai cărei specialişti lucrează cu peisaje adaptive [*fitness landscapes*]. Întrucât acesta este subiectul capitolului 11, aici voi mai spune doar că respectiva teorie, selecția naturală cosmologică, face o serie de predicții care, în

mod remarcabil, au rămas valabile în pofida mai multor ocazii de a fi infirmate în anii care au trecut de atunci.

În ultimul deceniu, mulți teoreticieni ai corzilor au adoptat conceptul de peisaj al teoriilor. Drept urmare, întrebarea cum alege universul legile pe care să le urmeze a devenit imperioasă. Aceasta, voi argumenta eu, este una dintre întrebările cărora li se poate răspunde numai într-un nou cadru pentru cosmologie, în care timpul este real, iar legile evoluează.

Legile, aşadar, nu-i sunt impuse universului din afara lui. Nici o entitate exterioară, fie ea divină sau matematică, nu precizează dinainte care trebuie să fie legile naturii. De asemenea, legile naturii nu aşteaptă tăcute, în afara timpului, ca universul să înceapă. Dimpotrivă, ele apar în interiorul universului şi evoluează în timp odată cu universul pe care-l de-scriu. Este chiar posibil, la fel ca în biologie, să apară noi legi ale fizicii ca regularități ale unor noi fenomene ce se ivesc în decursul istoriei universului.

Unii ar putea considera repudierea legilor eterne ca o abandonare a obiectivelor ştiinței. Dar eu o văd ca pe aruncarea peste bord a excesului de bagaj metafizic care ne

stânjeneşte în căutarea adevărului. În capitolele următoare voi oferi exemple ilustrând modul cum noțiunea de legi care evoluează în timp conduce la o cosmologie mai ştiințifică – înțelegând prin aceasta o cosmologie care generează mai multe predicții supuse testării experimentale.

*

Din câte ştiu, primul om de ştiință după zorii Revoluției Ştiințifice care s-a gândit într-adevăr serios cum să alcătuiască o teorie a întregului univers a fost Gottfried Wilhelm Leibniz, care printre altele a fost rivalul lui Newton în faimoasa dispută asupra priorității în inventarea analizei matematice. De asemenea, el a anticipat logica modernă, a elaborat un sistem de numerație binar şi multe altele. S-a spus despre el că a fost cel mai inteligent om care a trăit vreodată. Leibniz a formulat un principiu pentru elaborarea teoriilor cosmologice numit *principiul rațiunii suficiente*, care afirmă că trebuie să existe un motiv rațional pentru orice opțiune virtuală în construirea universului. Orice întrebare de forma „De ce universul are proprietatea X mai degrabă decât Y?“ trebuie să aibă un răspuns. Prin urmare dacă Dumnezeu a creat lumea, El nu

a putut avea nici o opțiune în întocmirea planului. Principiul lui Leibniz a avut un efect profund asupra dezvoltării fizicii până în prezent şi, după cum vom vedea, rămâne în continuare o călăuză de încredere în eforturile noastre de a concepe o teorie cosmologică.

Leibniz a avut viziunea unei lumi în care totul există nu în spațiu, ci imersat într-o rețea de relații. Relațiile acestea definesc spațiul, iar nu invers. În prezent, ideea unui univers de entități interconectate într-o rețea e răspândită în toată fizica, precum şi în biologie şi informatică.

Într-o lume relațională (cum numim o lume în care relațiile precedă spațiul), nu există spații fără obiecte. Conceptul de spațiu al lui Newton a fost contrariul, fiindcă el considera că spațiul e absolut. Aceasta înseamnă că atomii sunt definiți de poziția lor în spațiu, dar spațiul nu este afectat în nici un fel de mişcarea atomilor. Într-o lume relațională nu există asemenea asimetrii. Lucrurile sunt definite prin relațiile lor. Entitățile individuale există, şi ele pot fi parțial autonome, dar posibilitățile lor sunt determinate de rețeaua de relații. Ele se întâlnesc şi se percep reciproc prin legăturile

care le conectează în interiorul rețelei, iar rețelele sunt dinamice şi evoluează permanent.

Aşa cum voi explica în capitolul 3, din marele principiu al lui Leibniz rezultă că nu poate exista un timp absolut care se scurge orbeşte indiferent ce se întâmplă în lume. Timpul trebuie să fie o consecință a schimbării; dacă nimic nu se modifică în lume, nu poate exista timp. Filozofii spun că timpul este relațional – el este un aspect al relațiilor, cum ar fi cauzalitatea, care guvernează schimbarea. În mod similar, spațiul trebuie să fie relațional; într-adevăr, orice proprietate a unui obiect în natură trebuie să fie o reflexie a relațiilor dinamice[10] dintre acesta şi alte lucruri din lume.

Principiile lui Leibniz au contrazis ideile de bază ale fizicii lui Newton, de aceea a fost nevoie de un anumit timp pentru ca oamenii de ştiință activi să le aprecieze pe deplin. Einstein a fost cel care a preluat moştenirea lui Leibniz şi i-a folosit principiile ca motivație majoră pentru răsturnarea fizicii lui Newton şi înlocuirea ei cu relativitatea generală, o teorie a spațiului, timpului şi gravitației care întrupează în mare măsură viziunea relațională a lui Leibniz asupra spațiului şi timpului. Principiile lui Leibniz

sunt de asemenea realizate, într-un mod diferit, în revoluția cuantică. Eu numesc revoluția în fizică din secolul XX revoluția relațională.

Problema de a unifica fizica, şi, în particular, de a combina teoria cuantică şi relativitatea generală într-un cadru unic, este în mare parte sarcina de a completa revoluția relațională din fizică. Principalul mesaj al cărții de față este că aceasta necesită adoptarea ideilor că timpul este real şi legile evoluează.

Revoluția relațională este deja în toi în restul ştiinței. Revoluția lui Darwin în biologie se situează în frunte, manifestată atât în ideea că specia se defineşte prin relația sa cu toate celelalte organisme din mediul său, cât şi în conceptul că acțiunea unei gene e definită doar în contextul rețelei de gene care-i reglează acțiunea. Aşa cum ne dăm repede seama, biologia se referă la informație, şi nu există un concept mai relațional decât informația, dat fiind că se bazează pe o relație între expeditor şi destinatar la fiecare capăt al unui canal de comunicare.

În sfera socială, conceptului liberal al unei lumi de indivizi autonomi (imaginat de filozoful John Locke ca un analog al fizicii

prietenului său Isaac Newton) i se opune viziunea unei societăți alcătuite din indivizi interdependenți, doar parțial autonomi, ale căror vieți sunt semnificative numai într-un ghem de relații. Noul halo informațional care ne-a învăluit de curând exprimă ideea relațională prin metafora rețelei. Ca ființe sociale, ne vedem pe noi înşine drept noduri într-o rețea ale cărei conexiuni ne definesc. În prezent ideea unui sistem social alcătuit dintr-o rețea de entități interconectate apare în teoriile formulate de oricine, de la filozofi politici feminişti la mentori din management. Câți utilizatori ai Facebook îşi dau seama că viețile lor sociale sunt acum organizate de o puternică idee?

Revoluția relațională este deja foarte avansată. Dar în acelaşi timp, este evident în criză. Pe unele fronturi, e blocată. Oriunde e în criză, constatăm că trei tipuri de întrebări sunt aprig dezbătute. Ce este un individ? Cum apar noi tipuri de sisteme şi entități? Cum trebuie să înțelegem în mod util universul ca întreg?

Cheia acestor enigme este că nici indivizii, nici sistemele, şi nici întregul univers nu pot fi concepute ca lucruri care există pur şi simplu. Toate sunt compuse din procese care au loc în timp. Elementul lipsă,

fără de care nu putem răspunde la aceste întrebări, este să le vedem ca procese care evoluează în timp. Voi argumenta că, pentru a reuşi, revoluția relațională trebuie să adopte noțiunea de timp şi momentul prezent ca aspect fundamental al realității.

În vechiul mod de a gândi, indivizii erau cele mai mici unități ale unui sistem, iar dacă voiai să înțelegi cum funcționează un sistem, îl descompuneai şi studiai comportamentul părților sale. Dar cum să înțelegem proprietățile celor mai simple entități? Ele nu au părți, aşa încât reducționismul (cum este numită metoda aceasta) nu ne poate duce mai departe. Punctul de vedere atomic a ajuns aici la capătul drumului, fiind complet blocat. Aceasta e o mare oportunitate pentru programul relațional în curs de formare, fiindcă el poate – şi de fapt trebuie – să caute explicația pentru proprietățile particulelor elementare în rețeaua relațiilor lor.

Aceasta se întâmplă deja în teoriile unificate pe care le avem până acum. În Modelul Standard al fizicii particulelor, care este cea mai bună teorie a particulelor elementare de care dispunem în prezent, proprietățile unui electron – de pildă, masa lui – sunt determinate în mod dinamic de interacțiunile la care participă. Proprietatea

cea mai simplă pe care o poate avea o particulă este masa ei, care determină de câtă forță e nevoie pentru a-i schimba mişcarea. În Modelul Standard, masele tuturor particulelor apar din interacțiunile lor cu alte particule şi sunt determinate în principal de una – particula Higgs. Nu mai există particule „absolut“ elementare; tot ce se comportă ca o particulă este, într-o anumită măsură, o consecință emergentă a unei rețele de interacțiuni.

Emergența este un termen important într-o lume relațională. O proprietate a ceva alcătuit din părți este emergentă dacă ea nu are sens atunci când e atribuită oricăreia dintre părți. Pietrele sunt tari şi apa curge, dar atomii componenți nu sunt solizi sau umezi. O proprietate emergentă va fi adesea valabilă doar aproximativ, fiindcă ea decurge dintr-o descriere medie sau de nivel înalt care omite multe detalii.

Pe măsură ce ştiința progresează, aspecte ale naturii considerate cândva fundamentale se dovedesc a fi emergente şi aproximative. Credeam cândva că solidele, lichidele şi gazele sunt stări fundamentale; ştim acum că acestea sunt proprietăți emergente, care pot fi înțelese ca moduri diferite de aranjare a atomilor care alcătuiesc totul. Majoritatea

legilor naturii considerate cândva fundamentale sunt înțelese acum ca emergente şi aproximative. Temperatura nu-i decât energia medie a atomilor în mişcare aleatorie, de aceea legile termodinamicii care se referă la temperatură sunt emergente şi aproximative.

Tind să cred că aproape tot ce considerăm acum că este fundamental va fi în cele din urmă înțeles ca aproximativ şi emergent: gravitația şi legile lui Newton şi ale lui Einstein care o guvernează, legile mecanicii cuantice, chiar spațiul însuşi.

Teoria fizică fundamentală pe care o căutăm nu se va referi la lucruri care se mişcă în spațiu. Nu va avea gravitația, electricitatea sau magnetismul ca forțe fundamentale. Nu va fi mecanica cuantică. Toate acestea vor emerge ca noțiuni aproximative atunci când universul nostru devine suficient de mare.

Dacă spațiul este emergent, înseamnă că şi timpul este emergent? Dacă pătrundem destul de adânc în fundamentele naturii, timpul dispare? În ultimul secol, am progresat până în punctul în care mulți dintre colegii mei consideră că timpul este emergent dintr-o descriere mai profundă a naturii în care el nu apare.

Eu cred – pe cât de ferm poți crede ceva în știință – că ei se înșală. Timpul se va dovedi singurul aspect al experienței noastre de zi cu zi care *este* fundamental. Faptul că întotdeauna există un anumit moment în percepția noastră, și că trăim acel moment ca pe unul dintr-un flux de momente nu este o iluzie. Este cel mai bun indiciu privind realitatea fundamentală de care dispunem.

---

3. Sir Tom Stoppard (n. 1937), dramaturg britanic de origine cehă. Piesele sale se remarcă prin măiestria verbală și ingeniozitatea intrigii. *Arcadia* (1993) combină romantismul secolului XIX cu teoria modernă a haosului (n. tr.).

PARTEA I
GREUTATEA: ELIMINAREA TIMPULUI

1. Căderea

Înainte de a începe această călătorie, sau oricare altă călătorie de descoperiri, trebuie să urmăm sfatul filozofului grec Heraclit, care, aflat abia la primii paşi ai extraordinarei poveşti care e ştiința, a avut înțelepciunea să ne prevină că „naturii îi place să se ascundă“. Şi, într-adevăr, îi place; să ne gândim că majoritatea forțelor şi particulelor pe care ştiința le consideră acum fundamentale au stat ascunse în atom până în secolul din urmă. Unii dintre contemporanii lui Heraclit vorbeau despre atomi, dar fără să ştie cu adevărat dacă aceştia existau sau nu. Iar ideea lor era greşită, fiindcă şi-au imaginat că atomii sunt indivizibili. Abia odată cu articolele lui Einstein din 1905 în ştiință a apărut consensul că materia e alcătuită din atomi. Şase ani mai târziu, atomul însuşi a fost spart în bucăți. Astfel a început descifrarea interiorului atomilor şi descoperirea lumilor ascunse acolo.

Cea mai importantă excepție de la pudoarea naturii e gravitația. Este singura dintre forțele fundamentale ale cărei efecte

pot fi observate de oricine fără ajutorul unor instrumente speciale. Primele noastre experiențe de efort şi eşec sunt legate de gravitație. În consecință, gravitația trebuie să fi fost printre primele fenomene naturale cărora specia noastră le-a dat un nume.

Cu toate acestea, aspecte-cheie ale experienței comune a căderii corpurilor au rămas ascunse vederii noastre până în zorii ştiinței, iar multe rămân în continuare ascunse. După cum voi arăta în capitolele următoare, rămâne ascunsă relația dintre gravitație şi timp. Începem aşadar călătoria noastră către descoperirea timpului cu o cădere.

*

„De ce nu pot să zbor, tăticule?“

Eram pe terasa de pe acoperiş, privind grădina din spatele casei, aflată trei etaje mai jos.

„Voi sări şi voi zbura jos la mămica în grădină, ca păsările alea.“

„Pasăre“ a fost primul lui cuvânt, rostit către vrăbiile care zburătăceau în copac dincolo de fereastra din camera copiilor. Iată dilema de bază a părinților: le dorim copiilor noştri să fie liberi să se avânte mai departe decât noi, dar totodată ne temem pentru

siguranța lor într-o lume incertă. I-am spus cu asprime că oamenii nu pot să zboare şi categoric să nu încerce niciodată, iar el a izbucnit în plâns. Ca să-i distrag atenția, am folosit ocazia pentru a-i vorbi despre gravitație. Gravitația e cea care ne ține jos pe Pământ. De aceea cădem, şi de aceea toate lucrurile cad.

Următoarele cuvinte care au ieşit din gura lui au fost, deloc surprinzător, „de ce?“. Chiar şi un copil de trei ani ştie că a numi un fenomen nu înseamnă a-l explica.

Dar am putut juca un joc pentru a vedea *cum* cad lucrurile. Curând aruncam tot felul de jucării jos în grădină, făcând „sperimente“ pentru a vedea dacă toate cad la fel sau nu. În scurt timp am ajuns să mă gândesc la o întrebare care depăşeşte puterea minții unui copil de trei ani. Atunci când aruncăm un obiect şi el cade îndepărtându-se de noi, el descrie o curbă în spațiu. Ce fel de curbă?

Nu e de mirare că un copil nu-şi pune întrebarea asta. Se pare că nimeni nu şi-a pus-o timp de mii de ani după ce ne-am considerat foarte civilizați. Platon, Aristotel şi alți mari filozofi ai Antichității erau pare-se mulțumiți să urmărească lucrurile care

cădeau în jurul lor, fără să se întrebe dacă obiectele în cădere se deplasează de-a lungul unui anumit tip de curbă.

Primul om care a cercetat traiectoriile corpurilor în cădere a fost italianul Galileo Galilei, la începutul secolului XVII. El şi-a prezentat rezultatele în cartea *Dialog despre două ştiințe noi*, pe care a scris-o când trecuse de şaptezeci de ani, în timp ce era arestat la domiciliu de către Inchiziție. În cartea aceasta, el a afirmat că obiectele în cădere se deplasează întotdeauna de-a lungul aceluiaşi tip de curbă, care e o parabolă.

Galilei nu doar a descoperit cum cad corpurile, dar totodată şi-a explicat descoperirea. Faptul că obiectele în cădere descriu parabole e o consecință directă a altui fapt pe care el l-a observat primul, anume că toate corpurile, fie că sunt aruncate sau lăsate să cadă, cad cu accelerație constantă.

Observația lui Galilei că toate obiectele în cădere descriu o parabolă este una dintre cele mai minunate descoperiri din întreaga ştiință. Căderea e universală, la fel şi tipul de curbă trasat de corpurile care cad. Nu contează din ce e alcătuit obiectul, cum este asamblat sau la ce foloseşte. Cum nu contează nici de câte ori, de la ce înălțime sau cu ce viteză inițială lăsăm să cadă sau aruncăm acel obiect.

Putem repeta experimentul iar şi iar, şi de fiecare dată rezultatul este o parabolă. Parabola este una dintre curbele cel mai simplu de descris. Este mulțimea punctelor echidistante față de un punct şi o dreaptă. Prin urmare, unul dintre fenomenele universale este şi unul dintre cele mai simple.

Parabola este un concept din matematică – un exemplu de ceea ce numim obiect matematic – care le era cunoscut matematicienilor cu mult înainte de vremea lui Galilei. Observația lui Galilei potrivit căreia corpurile cad de-a lungul unor parabole este unul dintre primele exemple de lege a naturii – altfel spus, o regularitate în comportamentul unui mic subsistem al universului. În cazul de față, subsistemul este un obiect care cade aproape de suprafața unei planete. Aceasta s-a întâmplat de foarte multe ori şi în foarte multe locuri de la începutul universului; prin urmare, există numeroase exemple în care legea se aplică.

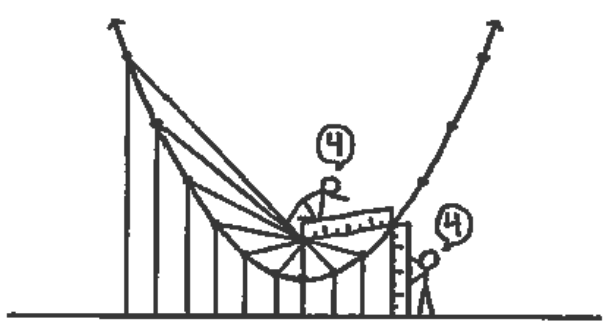


Fig. 1. Definiția unei parabole: mulțimea punctelor echidistante față de un punct şi o dreaptă.

Iată o întrebare pe care o pot pune copiii când sunt ceva mai mari: ce spune despre lume faptul că obiectele în cădere descriu o asemenea curbă simplă? De ce un concept matematic precum parabola, o invenție a gândirii pure, are legătură cu natura? Şi de ce un fenomen universal precum căderea corpurilor are un corespondent matematic care este una dintre cele mai simple şi mai frumoase curbe din toată geometria?

*

Ulterior descoperirii lui Galilei, fizicienii au folosit în mod profitabil matematica pentru descrierea fenomenelor fizice. Acum ni se pare evident că o lege trebuie să aibă formă matematică, dar timp de aproape 2000 de ani după ce Euclid a codificat axiomele geometriei nimeni nu a propus o lege matematică aplicabilă mişcării obiectelor pe Pământ. De pe vremea vechilor greci şi până în secolul XVII, oamenii instruiți ştiau ce este o parabolă, dar nici unul dintre ei nu pare să se fi întrebat dacă mingile, săgețile şi alte obiecte pe care le lăsau să cadă, le

aruncau sau le trăgeau cădeau de-a lungul unui anumit tip de curbă.[1] Oricare dintre ei ar fi putut face descoperirea lui Galilei; instrumentele folosite de el erau disponibile în Atena lui Platon şi în Alexandria Hypatiei. Dar nimeni nu a făcut-o. Ce s-a schimbat pentru a-l face pe Galilei să creadă că matematica are un rol în descrierea a ceva atât de simplu precum căderea obiectelor?

Întrebarea aceasta ne duce în miezul unor întrebări uşor de formulat, dar la care e greu de răspuns: Cu ce se ocupă matematica? De ce intervine ea în ştiință?

Obiectele matematice sunt constituite din gândire pură. Nu descoperim parabole în lume, le inventăm. O parabolă, un cerc sau o dreaptă sunt idei. Ele trebuie formulate, şi apoi captate într-o definiție. „*Un cerc este mulțimea punctelor echidistante față de un singur punct.* […] *O parabolă este mulțimea punctelor echidistante față de un punct şi o dreaptă.*“ Odată ce avem conceptul, putem deduce direct din definiția unei curbe proprietățile sale. Aşa cum am învățat la orele de geometrie din liceu, raționamentul acesta poate fi formalizat ca o demonstrație, în care fiecare argument decurge din argumente anterioare prin reguli deductive

simple. În nici o etapă a acestui proces de raționament formal observația sau măsurătoarea nu au vreun rol.[2]

Un desen poate aproxima proprietățile dovedite printr-o demonstrație, dar întotdeauna în mod imperfect. Acelaşi lucru e valabil pentru curbele pe care le găsim în lume: curba spatelui unei pisici care se întinde sau curbura cablurilor unui pod suspendat. Ele vor trasa doar în mod aproximativ o curbă matematică; dacă privim mai îndeaproape, întotdeauna există o anumită imperfecțiune în realizarea ei. De unde paradoxul fundamental al matematicii: lucrurile pe care le studiază sunt ireale, şi totuşi cumva ele aruncă lumină asupra realității. Dar cum? Relația dintre realitate şi matematică este departe de a fi evidentă, chiar şi în cazul acesta simplu.

V-ați putea întreba ce are de-a face explorarea matematicii cu explorarea gravitației. Dar aceasta e o digresiune necesară, fiindcă matematica este la fel de importantă pentru misterul timpului ca gravitația, şi trebuie să identificăm relația dintre matematică şi natură într-un caz simplu, precum cel al corpurilor care cad de-a lungul unor curbe. Altminteri, când ajungem în prezent şi întâlnim afirmații de

genul „universul este o varietate spațio-temporală cvadridimensională“, vom fi dezorientați. Dacă în prealabil nu am navigat în ape destul de puțin adânci încât să vedem fundul, lesne vom cădea pradă unor mistificatori dornici să ne vândă fantezii metafizice radicale deghizate în știință.

Deşi în natură nu găsim niciodată cercuri şi parabole perfecte, ele au o trăsătură în comun cu obiectele naturale: rezistența la manipularea de către fantezia şi voința noastră. Numărul p – raportul dintre circumferința unui cerc şi diametrul său – este o idee. Dar odată ce conceptul a fost inventat, valoarea lui a devenit o proprietate obiectivă, care trebuie descoperită prin raționamente ulterioare. Au existat tentative de a legifera valoarea lui p, şi ele au dezvăluit o profundă neînțelegere. Oricât de mult am dori s-o modificăm, valoarea lui p rămâne cea care este. Acelaşi rezultat e valabil pentru toate celelalte proprietăți ale curbelor şi ale altor obiecte matematice; aceste obiecte sunt ceea ce sunt, iar în privința proprietăților lor putem avea dreptate sau putem greşi, dar nu le putem schimba.

Majoritatea ne împăcăm cu incapacitatea noastră de a zbura. Admitem până la urmă că

nu avem nici o influență asupra multor aspecte ale naturii. Dar nu e puțin neliniştitor că unele concepte care există doar în mințile noastre au proprietăți la fel de obiective şi de imune la voința noastră ca lucrurile din natură? Inventăm curbele şi numerele din matematică, dar odată ce le-am inventat nu le mai putem modifica.

Dar chiar dacă curbele şi numerele seamănă cu obiectele din lumea naturală prin stabilitatea proprietăților lor şi rezistența la voința noastră, ele nu sunt la fel ca obiectele naturale. Le lipseşte o proprietate esențială împărtăşită de toate lucrurile din natură. Aici, în lumea naturală, întotdeauna este un anumit moment de timp. Tot ce cunoaştem în lume participă în curgerea timpului. Toate observațiile asupra lumii pe care le facem pot fi datate. Fiecare dintre noi, şi tot ce cunoaştem în natură, există un anumit interval de timp; înainte şi după acel interval, noi şi toate celelalte nu existăm.

Curbele şi alte obiecte matematice nu trăiesc în timp. Valoarea lui p nu e însoțită de o dată înainte de care a fost diferită, sau nedefinită, şi după care se va schimba. Dacă e adevărat că două drepte paralele nu se întâlnesc niciodată într-un plan aşa cum a fost el definit de Euclid, atunci întotdeauna a

fost şi întotdeauna va fi adevărat. Afirmațiile despre obiecte matematice precum curbele şi numerele sunt adevărate într-un mod care nu are nevoie de nici o precizare în legătură cu timpul. Obiectele matematice transcend timpul. Dar cum poate să existe ceva fără să existe în timp?[3]

Oamenii dezbat aceste chestiuni de milenii, iar filozofii nu au ajuns încă la un acord în privința lor. Dar o propunere se află pe masă încă de când aceste probleme au fost puse prima oară în discuție. Ea afirmă că numerele, curbele şi alte obiecte matematice există la fel de ferm ca şi lucrurile pe care le vedem în natură – atâta doar că ele nu sunt în lumea noastră, ci într-un alt tărâm, un tărâm fără timp. Prin urmare *nu* există două feluri de lucruri în lumea noastră, unele supuse timpului şi altele eterne. Există în schimb două lumi: una supusă timpului şi una eternă.

Ideea că obiectele matematice există într-o lume separată, atemporală, este deseori asociată cu Platon. El a afirmat că atunci când matematica vorbeşte despre un triunghi, nu este nici unul dintre triunghiurile din lume, ci un triunghi ideal, care e la fel de (şi chiar mai) real, dar există într-un alt tărâm, aflat în afara timpului. Teorema conform căreia suma unghiurilor unui triunghi este

180 de grade nu este riguros adevărată pentru nici un triunghi real din lumea fizică, dar este absolut şi riguros adevărată pentru acel triunghi matematic ideal care există în lumea matematică. Prin urmare, atunci când demon-străm teorema, dobândim cunoştinţe despre ceva care există în afara timpului şi dovedim un adevăr care, de asemenea, nu e legat de prezent, trecut sau viitor.

Dacă Platon are dreptate, atunci doar prin raționament noi, ființele umane, putem transcende timpul şi afla adevăruri eterne despre un tărâm etern al existenței. Unii matematicieni susțin că au dedus cunoştinţe certe despre tărâmul platonic. Afirmația aceasta, dacă e adevărată, le conferă o urmă de divinitate. Cum îşi imaginează ei că le-au extras? Este afirmația lor credibilă?

Când vreau o doză de platonism, iau prânzul împreună cu prietenul meu Jim Brown. Amândoi savurăm o mâncare bună, iar în timpul acesta el îmi explică cu răbdare, şi nu pentru prima oară, argumentele în favoarea realității eterne a lumii matematice. Jim este neobişnuit printre filozofi prin aceea că reuneşte o minte ascuțită şi o dispoziție radioasă. Simți că e fericit în viață şi este o bucurie să-l cunoşti. E un bun filozof; cunoaşte toate argumentele fiecărei părți şi

nu are reţineri să le discute pe acelea pe care nu le poate respinge. Dar mi-a fost imposibil să-i zdruncin încrederea în existenţa unui tărâm etern al obiectelor matematice. Mă întreb uneori dacă credinţa lui în adevăruri aflate dincolo de puterea de înţelegere a oamenilor nu contribuie la fericirea lui ca om.

O întrebare la care Jim şi alţi platonicieni admit că le este greu să răspundă este cum putem noi, fiinţe umane care trăim limitate în timp, în contact numai cu alte lucruri limitate în mod similar, să avem o cunoaştere precisă a tărâmului atemporal al matematicii. Accedem la adevărurile matematicii prin raţionament, dar putem fi realmente siguri că raţionamentul nostru e corect? De fapt, nu putem. Din când în când sunt descoperite erori în demonstraţii publicate în manuale, prin urmare probabil că mai rămân erori. Putem încerca să scăpăm de dificultate afirmând că obiectele matematice nu există deloc, nici chiar în afara timpului. Dar ce sens are să afirmăm că avem cunoştinţe sigure despre domeniul unor obiecte inexistente?

Un alt prieten cu care discut despre platonism este fizicianul şi matematicianul englez Roger Penrose. El susţine că

adevărurile lumii matematice au o realitate care nu e captată de nici un sistem de axiome. El îl urmează pe marele logician Kurt Gödel în afirmația că rațiunea ne poate conduce direct la adevăruri despre tărâmul matematic – adevăruri care transcend demonstrația axiomatică formală. Odată, el mi-a spus ceva de felul acesta: „Eşti absolut sigur că unu şi cu unu fac doi. Este un fapt despre lumea matematică pe care-l poți înțelege intuitiv şi de care poți fi sigur. Prin urmare unu-şi-cu-unu- fac-doi este, prin sine însuşi, o dovadă suficientă că rațiunea poate transcende timpul. Dar doi şi cu doi fac patru? Şi de asta eşti sigur! Ce zici de cinci şi cu cinci fac zece? Nu ai nici o îndoială, nu-i aşa? Prin urmare există un număr foarte mare de fapte despre tărâmul atemporal al matematicii pe care eşti convins că le cunoşti.“ Penrose crede că mințile noastre pot transcende fluxul în permanentă schimbare al experienței şi atinge o realitate atemporală eternă aflată dincolo de ea.[4]

Am descoperit fenomenul gravitației când ne-am dat seama că experiența căderii este întâlnirea cu un fenomen natural universal. În încercările noastre de a înțelege acest fenomen am desluşit o regularitate uimitoare: toate obiectele cad de-a lungul unei curbe

simple inventată de antici şi numită parabolă. Putem astfel stabili o legătură între un fenomen universal care afectează lucrurile vremelnice din lume şi un concept inventat care, în perfecțiunea lui, sugerează posibilitatea unor adevăruri – şi a unei existențe – în afara timpului. Dacă eşti platonician, precum Brown şi Penrose, descoperirea că în mod universal corpurile cad de-a lungul unor parabole nu este nici mai mult nici mai puțin decât percepția unei relații între lumea noastră terestră vremelnică şi o altă lume, atemporală, a adevărului şi frumuseții eterne. Descoperirea simplă a lui Galilei capătă atunci o semnificație transcendentă sau religioasă: este descoperirea unei reflexii a divinității eterne acționând în mod universal în lumea noastră. Căderea unui corp, care în lumea noastră imperfectă se petrece în timp, dezvăluie perfecțiunea atemporală esențială a naturii.

Această viziune a transcenderii către atemporal prin intermediul ştiinței i-a atras pe mulți spre ştiință, inclusiv pe mine, dar acum sunt convins că e falsă. Visul transcendenței are un defect fatal esențial, legat de pretenția lui de a explica temporalul prin atemporal. Fiindcă nu avem acces fizic la lumea atemporală imaginată, mai devreme

sau mai târziu vom ajunge să născocim lucruri (voi prezenta exemple pentru acest neajuns în capitolele următoare). Există o ieftinătate în centrul oricărei alegații că universul nostru este explicat în ultimă instanță de o altă lume, „mai perfectă“, separată de tot ce percepem. Dacă cedăm acestei alegații, facem ca granița dintre ştiință şi misticism să devină permeabilă.

Dorința noastră de transcendență este la origine o aspirație religioasă. Năzuința de a fi eliberați de moarte şi de suferințele şi limitările din viața noastră este combustibilul pentru religie şi misticism. Căutarea cunoaşterii matematice ne transformă oare într-un fel de preoți, cu acces special la o formă de cunoaştere extraordinară? Trebuie pur şi simplu să recunoaştem în matematică o activitate religioasă? Sau ar trebui să ne îngrijorăm atunci când gânditorii noştri cei mai raționali, matematicienii, vorbesc despre ceea ce fac ei ca şi cum ar fi calea către depăşirea limitelor vieții umane?

Este mult mai dificil să acceptăm disciplina conform căreia trebuie să explicăm universul pe care îl percepem şi experimentăm doar prin el însuşi – să explicăm realul doar prin real, şi temporalul doar prin temporal. Dar deşi e mai dificilă,

calea aceasta restrictivă, mai puțin romantică, va avea în cele din urmă mai mult succes. Răsplata care ne aşteaptă este de a înțelege, în sfârşit, semnificația timpului în propriii săi termeni.

2. Dispariția timpului

Galilei nu a fost primul care să asocieze mişcarea cu curbele. El a fost doar primul care a făcut-o pentru mişcarea pe Pământ. Un motiv pentru care nimănui înaintea lui Galilei nu i-a venit ideea că obiectele cad de-a lungul unor parabole este că nimeni nu percepuse acele parabole în mod direct. Traiectoriile corpurilor în cădere erau pur şi simplu prea rapide pentru a fi văzute.[1] Dar cu mult înaintea lui Galilei, oamenii au avut exemple de mişcări suficient de lente pentru a fi înregistrate cu uşurință. Acestea erau mişcările Soarelui, ale Lunii şi ale planetelor pe cer. Platon şi discipolii săi dispuneau de înregistrări ale pozițiilor acestora, pe care egiptenii şi babilonienii le consemnau de mii de ani.

Astfel de înregistrări i-au uimit şi încântat pe cei care le-au studiat, fiindcă ele conțineau tipare – unele evidente, precum mişcarea anuală a Soarelui, iar altele departe de a fi evidente, precum ciclul de optsprezece ani şi unsprezece zile descoperit în succesiunea eclipselor solare. Aceste

tipare erau indicii privind adevărata structură a universului în care se găseau anticii. Timp de multe secole, savanții s-au străduit să le descifreze, iar prin aceste eforturi matematica a pătruns pentru prima oară în ştiință.

Dar acesta nu e întregul răspuns. Galilei nu a folosit nici un instrument pe care să nu-l fi avut la dispoziție grecii antici, prin urmare trebuie să fi existat un motiv conceptual pentru care nu s-au făcut progrese legate de mişcarea pe Pământ. Să fi avut predecesorii lui Galilei o pată oarbă pentru mişcarea pe Pământ, iar Galilei nu? Ce credeau ei, iar el nu credea?

Să examinăm descoperirea unuia dintre cele mai simple şi mai profunde tipare observate de astronomii antici. Cuvântul „planetă“ provine din cuvântul grecesc care înseamnă rătăcitor, dar planetele nu rătăcesc pe tot întinsul cerului. Ele se mişcă de-a lungul unui cerc mare numit ecliptică, o orbită fixă în raport cu stelele. Descoperirea eclipticii trebuie să fi fost primul pas în descifrarea înregistrărilor pozițiilor planetare.

Un cerc este un obiect matematic definit printr-o regulă simplă. Ce semnifică descoperirea unui cerc în mişcările de pe cer? Este manifestarea unui fenomen atemporal în

lumea efemeră supusă timpului? Poate că noi aşa am interpreta-o, dar nu astfel au înțeles-o anticii. Pentru antici, universul era scindat în două tărâmuri: cel terestru, domeniul naşterii şi al morții, al schimbării şi descompunerii, şi tărâmul ceresc de deasupra, un loc al perfecțiunii eterne. Pentru ei, cerul deja era un tărâm transcendent, populat cu obiecte divine nesupuse creşterii sau descompunerii. Aceasta era, la urma urmei, ceea ce vedeau. Aristotel însuşi a observat că „pe tot parcursul trecutului, după amintirile păstrate prin tradiție, nu se constată nici o schimbare, nici a cerului în întregul său, nici a părților sale“.[2]

Dacă obiectele din acest tărâm divin se mişcă, mişcările lor nu pot fi decât perfecte, şi ca atare eterne. Pentru antici, era evident că planetele se mişcă de-a lungul unui cerc deoarece, fiind divine şi perfecte, nu se pot mişca decât de-a lungul celei mai desăvârşite curbe. Dar tărâmul terestru nu este perfect, de aceea lor li s-ar fi părut bizar să descrie mişcarea pe Pământ în termenii unor curbe matematice perfecte.

Divizarea lumii într-un tărâm terestru şi sferele cereşti era codificată în fizica aristotelică. Totul în tărâmul terestru era alcătuit dintr-un amestec de patru elemente:

pământ, aer, foc şi apă. Fiecare avea o mişcare naturală: mişcarea naturală a pământului, de exemplu, era să caute centrul universului. Schimbarea rezulta din amestecul acestor patru esențe. Eterul era al cincilea element, chintesența, care alcătuia tărâmul ceresc şi obiectele care se mişcau prin el.

Diviziunea aceasta se afla la originea legăturii dintre înălțime şi transcendență. Dumnezeu, cerurile, perfecțiunea – acestea sunt deasupra noastră, în vreme ce noi suntem captivi aici, jos. Din această perspectivă, descoperirea că mişcările de pe cer descriu forme matematice are sens, deoarece atât tărâmul matematic, cât şi cel celest transcend timpul şi schimbarea. A le cunoaşte pe acestea înseamnă a transcende tărâmul terestru.

Matematica, aşadar, a pătruns în ştiință ca o expresie a credinței în perfecțiunea eternă a cerurilor. Oricât de utilă s-a dovedit a fi matematica, postularea unor legi matematice atemporale nu este niciodată complet inocentă, fiindcă întotdeauna poartă o urmă a fanteziei metafizice a transcenderii lumii terestre către o lume a formelor perfecte.

Mult timp după ce ştiința a depăşit cosmosul anticilor, forma sa de bază

continuă să influențeze limbajul cotidian şi metaforele. Vorbim despre a fi la înălțimea ocaziei. Privim în sus pentru inspirație. Pe când a cădea („a cădea în păcat“, de exemplu) înseamnă a ceda sau a pierde controlul. Mai mult, opoziția dintre „ascensiune“ şi „cădere“ simbolizează conflictul dintre corporal şi spiritual. Raiul este deasupra noastră. Iadul este dedesubt. Când ne facem de râs, intrăm în pământ de ruşine. Dumnezeu şi toate aspirațiile noastre supreme sunt deasupra noastră.

Muzica a fost un alt mod prin care anticii au experimentat transcendentul. Ascultând muzică, avem adesea experiența unei frumuseți profunde care ne „scoate din timp“. Nu e surprinzător că dincolo de frumusețea muzicii anticii au perceput mistere matematice care aşteptau să fie descifrate. Printre marile descoperiri ale şcolii lui Pitagora a fost asocierea armoniilor muzicale cu raporturi numerice simple. Pentru antici, acesta a fost un al doilea indiciu că în matematică sunt captate tiparele divine. Cunoaştem puține amănunte personale despre Pitagora şi adepții lui, dar ne putem imagina că ei au observat că afinitatea pentru matematică însoțeşte adesea un talent pentru muzică. Noi am spune că

matematicienii şi muzicienii au în comun capacitatea de a recunoaşte, a crea şi a manipula tipare abstracte. Anticii ar fi vorbit mai degrabă despre capacitatea lor comună de a percepe divinul.

Galilei a fost în contact cu muzica în copilărie, înainte să fi devenit om de ştiință.[3] Tatăl său, Vincenzo Galilei, a fost compozitor şi un influent teoretician al muzicii, despre care se spune că a întins corzi de vioară în podul casei lor din Pisa pentru ca tânărul său fiu să perceapă relația dintre armonie şi raporturile numerice. Plictisindu-se în timpul unei slujbe la catedrala din Pisa, Galilei a observat că timpul necesar unui candelabru să oscileze dintr-o parte într-alta era independent de amplitudinea oscilației. Independența perioadei (timpul necesar pentru o oscilație completă sau o parcurgere a orbitei) de amplitudinea unui pendul a fost una dintre primele sale descoperiri. Cum a reuşit? Noi am folosi un ceas sau un cronometru, dar Galilei nu dispunea de aşa ceva. Ne putem imagina că pur şi simplu cânta în timp ce urmărea candelabrul legănându-se deasupra capului său, fiindcă mai târziu a susținut că poate măsura timpul cu o precizie de o zecime de puls.

Galilei a făcut dovada unor calități de muzician şi atunci când a pledat cauza copernicană. El şi-a scris ideile în italiană în loc de latină, limba erudiților, transmițându-le cu însuflețire prin intermediul unor dialoguri în care personaje imaginare discută despre ştiință în timp ce iau masa împreună sau se plimbă. Pentru aceasta el este elogiat ca un democrat care a disprețuit ierarhia Bisericii şi a universității adresându-se direct inteligenței omului de rând.

Polemist şi experimentator strălucit, ceea ce uimeşte însă în opera lui Galilei sunt noile întrebări pe care le-a pus – mulțumită în parte eliberării de vechile dogme, care a fost moştenirea Renaşterii italiene. Vechea distincție dintre tărâmurile terestru şi divin, care mult timp i-a împiedicat pe oameni să gândească, pare să nu-l fi impresionat pe Galilei. Leonardo descoperise proporția şi armonia în forma statică, dar Galilei a căutat armonia matematică în mişcările obişnuite, precum cele ale pendulelor sau ale bilelor care se rostogolesc pe planuri înclinate. Înainte de a fi democrat în strategia lui de comunicare, el a fost democrat în privința universului.

Galilei a distrus divinitatea cerului atunci când a descoperit că perfecțiunea celestă era

o minciună. Nu el a inventat telescopul, şi poate că nu a fost singurul care a folosit noua invenție pentru a privi cerul. Dar perspectiva şi talentele sale unice l-au determinat să facă mare caz de ceea ce a văzut acolo, anume imperfecțiune. Soarele are pete. Luna nu este o sferă perfectă de chintesență; ea are munți, la fel ca Pământul. Saturn are o formă triplă ciudată. Jupiter are sateliți, şi sunt mult mai multe stele decât se văd cu ochiul liber.

Acest declin al divinității fusese anticipat cu câțiva ani mai înainte, în 1577, când astronomul danez Tycho Brahe a observat o cometă penetrând sferele perfecte ale Cerului. Tycho a fost ultimul şi cel mai mare dintre astronomii erei pretelescopice, şi împreună cu asistenții săi a acumulat de-a lungul vieții cele mai bune măsurători ale mişcărilor planetare din câte fuseseră făcute vreodată. Acestea au rămas nedescifrate în însemnările sale până în 1600, când a angajat un tânăr asistent irascibil, pe Johannes Kepler.

Planetele se mişcă de-a lungul eclipticii, dar mişcarea lor nu e consecventă. Toate se mişcă în aceeaşi direcție, dar din când în când se opresc şi se întorc, deplasându-se un timp în sens opus. Mişcarea aceasta retrogradă a fost un mare mister pentru

antici. Semnificația sa reală este că şi Pământul e o planetă, care se mişcă în jurul Soarelui asemenea celorlalte planete. Planetele par că se opresc şi-şi schimbă direcția doar din perspectiva Pământului. Pe cerul nostru Marte se mişcă spre est atunci când este înaintea noastră şi-şi schimbă direcția când Pământul îl ajunge din urmă. Mişcarea sa retrogradă este doar un efect al mişcării Pământului, dar anticii nu puteau vedea lucrurile astfel, fiindcă erau prizonierii ideii false că Pământul este imobil în centrul universului. Întrucât Pământul e nemişcat, mişcarea observată a planetelor trebuie să fie mişcarea lor reală; prin urmare astronomii antici trebuiau să explice mişcările retrograde ca şi cum ar fi fost provocate de mişcarea intrinsecă a planetelor. În acest scop, ei au imaginat un aranjament greoi implicând două tipuri de cercuri, în care fiecare planetă descria un cerc mic al cărui centru se rotea la rândul său în jurul Pământului pe un cerc mai mare.

Epiciclurile, cum erau numite cercurile mici, se roteau cu o perioadă de un an terestru, ele nefiind altceva decât umbra mişcării Pământului. Alte ajustări necesitau şi mai multe cercuri; pentru ca totul să funcționeze era nevoie de cincizeci şi cinci

de cercuri. Atribuind perioade adecvate fiecăruia dintre cercurile mari, astronomul alexandrin Ptolemeu a calibrat modelul la un grad de precizie remarcabil. Câteva secole mai târziu, astronomii islamici au reglat şi mai fin modelul ptolemaic, iar în vremea lui Tycho el prezicea pozițiile planetelor, ale Soarelui şi ale Lunii cu o precizie de 1 la 1 000 – suficient pentru a fi în acord cu majoritatea observațiilor lui Tycho. Modelul lui Ptolemeu era frumos din punct de vedere matematic, iar succesele sale i-au convins pe astronomi şi pe teologi vreme de peste un mileniu că premisele sale erau corecte. Şi cum ar putea fi greşite? La urma urmei, modelul fusese confirmat prin observație.

Există o lecție aici, anume că nici frumusețea matematică, nici acordul cu experimentul nu pot garanta că ideile pe care se bazează o teorie au cea mai vagă legătură cu realitatea. Uneori o descifrare a tiparelor din natură ne duce într-o direcție greşită. Uneori ne înşelăm grav, ca indivizi şi ca societate. Ptolemeu şi Aristotel nu erau mai puțin ştiințifici decât oamenii de ştiință din prezent. Doar că au avut neşansa ca mai multe ipoteze false să conspire pentru a funcționa bine împreună. Nu există vreun alt antidot pentru capacitatea noastră de a ne

înşela decât să continuăm procesul ştiințific, aşa încât erorile să fie până la urmă obligate să iasă la lumină.

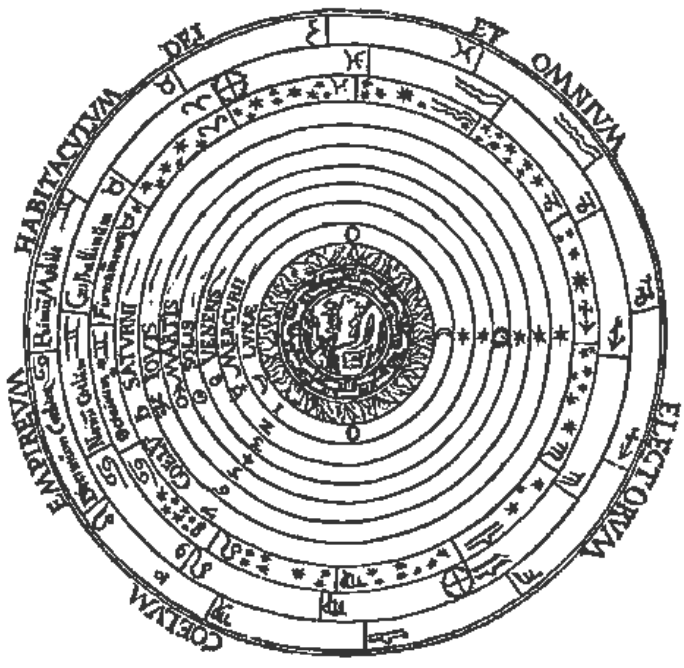


Fig. 2. O schemă a viziunii ptolemaice asupra universului.[4]

Copernic a fost cel care a descifrat semnificația faptului că toate epiciclurile au aceeaşi perioadă şi se mişcă în fază cu orbita Soarelui. El a pus Pământul în locul său corect, ca o planetă, şi Soarele aproape de centrul universului. Asta a simplificat modelul, dar a introdus o tensiune căreia cosmologia antică nu i-a putut supraviețui. De ce ar fi sfera Pământului diferită de sferele cereşti, dacă Pământul nu e decât una dintre planetele care se deplasează prin spațiile celeste?

Copernic a fost totuşi un revoluționar şovăielnic căruia i-au scăpat alte indicii. Unul important a fost că şi după ce s-a ținut

seama de mişcarea Pământului, orbitele planetelor nu erau cercuri perfecte. Incapabil să renunțe la ideea că mişcările de pe cer trebuie să se compună din cercuri, Copernic a rezolvat problema la fel ca Ptolemeu cu paisprezece secole mai înainte. El a introdus epiciclurile necesare pentru a pune în acord teoria cu datele.

Orbita cea mai puțin circulară este a lui Marte. A fost marele noroc al lui Kepler – şi al ştiinței de asemenea – că Tycho i-a încredințat lui Kepler problema descifrării orbitei lui Marte. Lucrând vreme de mulți ani după ce părăsise serviciul lui Tycho, Kepler a descoperit că Marte descrie în spațiu o elipsă, nu un cerc.

Caracterul revoluționar al acestei descoperiri nu e pesemne evident unui cititor modern. Într-o cosmologie geocentrică, planetele nu descriu o curbă închisă, fiindcă traiectoriile lor în raport cu Pământul rezultă din combinarea a două mişcări circulare cu perioade diferite. Orbitele formează curbe închise numai dacă sunt reprezentate în raport cu Soarele. Doar atunci se poate pune întrebarea care e forma unei orbite. Aşezând Soarele în centru, armonia lumii devine aşadar mai profundă.

Odată ce s-a înțeles că orbitele planetelor sunt elipse, puterea explicativă a teoriei lui Ptolemeu a fost zdruncinată. S-au pus o serie de noi întrebări: *De ce* se mişcă planetele pe orbite eliptice? Şi ce le împiedică să se răzlețească? În fond, ce le obligă să se mişte, în loc să stea pur şi simplu locului în spațiu? Răspunsul lui Kepler a fost o presupunere hazardată ce s-a dovedit a fi pe jumătate corectă: *Planetele se mişcă pe orbitele lor datorită unei forțe provenind din Soare*. Imaginați-vă Soarele ca pe o caracatiță care se învârte, tentaculele sale antrenând planetele în mişcarea de rotație. A fost pentru prima oară când cineva a sugerat Soarele ca sursa unei forțe care influențează planetele. El a greşit doar în privința direcției forței.

Tycho şi Kepler au nimicit sferele cereşti, iar astfel au unificat lumea. Această unificare a avut implicații serioase pentru înțelegerea timpului. În cosmologia lui Aristotel şi Ptolemeu, un tărâm atemporal al perfecțiunii eterne înconjoară tărâmul terestru. Creşterea, descompunerea, schimbarea, toate dovezile unei lumi sub stăpânirea timpului, sunt limitate la micul domeniu aflat sub sfera Lunii. Deasupra nu există decât mişcarea circulară, imuabilă şi eternă. Acum, că sfera care separă temporalul de atemporal a fost

sfărâmată, nu mai putea fi decât o singură noțiune de timp. Noua lume va fi pretutindeni sub stăpânirea timpului, întregul univers fiind supus creşterii şi descompunerii? Sau perfecțiunea eternă se va extinde asupra întregii creații, încât schimbarea, naşterea şi moartea să fie percepute ca simple iluzii? Ne vom strădui să răspundem la această întrebare.

Kepler şi Galilei nu au rezolvat misterul relației dintre tărâmul divin, etern, al matematicii şi lumea reală în care trăim. Ei l-au adâncit. Au doborât bariera dintre cer şi Pământ, punând Pământul pe cer ca una dintre planetele divine. Au descoperit curbe matematice în mişcările corpurilor pe Pământ şi ale planetelor în jurul Soarelui. Dar nu au putut remedia sciziunea fundamentală dintre realitatea supusă timpului şi matematica atemporală.

La jumătatea secolului XVII, oamenii de ştiință şi filozofii s-au confruntat cu o opțiune radicală. Sau lumea este matematică în esența ei, sau ea trăieşte în timp. Două indicii despre natura realității pluteau în aer, în aşteptare şi nerezolvate. Kepler descoperise că planetele se mişcă de-a lungul unor elipse. Galilei descoperise că obiectele în cădere se mişcă de-a lungul unor parabole.

Ambele mişcări erau exprimate prin curbe matematice simple şi ambele reprezentau o descifrare parțială a secretului mişcării. Separat, ele erau descoperiri profunde; împreună, erau germenii Revoluției Ştiințifice pe cale să înflorească.

Aceasta aduce oarecum cu situația actuală din fizica teoretică. Avem două descoperiri majore, teoria cuantică şi relativitatea generală, pe care încercăm să le unificăm. Am lucrat la problema aceasta cea mai mare parte a vieții şi sunt impresionat de progresele care s-au făcut. În acelaşi timp, sunt sigur că cheia soluției este o idee simplă, ascunsă vederii. A admite că progresul poate fi oprit în aşteptarea unei invenții cu nimic mai substanțială decât o idee, este umilitor, dar s-a mai întâmplat şi înainte. Revoluția Ştiințifică lansată de descoperirile simple ale lui Galilei şi Kepler a fost mult timp întârziată din cauza ideii că universul este divizat într-un tărâm terestru şi unul celest. Ideea aceasta a împiedicat aplicarea deplină a matematicii la lumea inferioară, în vreme ce înțelegerea lumii superioare a fost zădărnicită de credința că nu era nevoie să fie căutate cauzele mişcărilor cereşti perfecte.

E tulburător să ne gândim ce s-ar fi putut întâmpla dacă aceste erori conceptuale fundamentale n-ar fi orbit, timp de peste 1 000 de ani, gândirea oamenilor inteligenți care dispuneau de datele şi de matematica necesare pentru a face paşii pe care i-a făcut Galilei. Un astronom elenistic sau islamic ar fi putut face unele sau toate descoperirile lui Kepler pe baza datelor disponibile cu 1 000 de ani înaintea lui Tycho. Ideea că Pământul se roteşte în jurul Soarelui nu a trebuit să-l aştepte pe Copernic; ea se afla pe masă încă de când fusese propusă de Aristarchos în secolul III î.Cr. Cosmologia lui heliocentrică a fost discutată de Ptolemeu şi alții şi a fost probabil cunoscută unor mari învățați precum Hypatia, o matematiciană şi filozoafă strălucită care a trăit la Alexandria între aproximativ 360 şi 415 d.Cr. Dacă ea sau unul dintre discipolii ei inteligenți ar fi descoperit legea lui Galilei a căderii corpurilor, sau orbitele eliptice ale lui Kepler?[5] Ar fi putut exista un Newton în secolul VI, iar Revoluția Ştiințifică ar fi putut începe cu 1 000 de ani mai devreme.

Istoricii pot obiecta că descoperirile lui Copernic, Galilei şi Kepler nu erau posibile înainte ca Renaşterea să fi pregătit drumul eliberându-i pe gânditori de dogmatismul

Evului Întunecat. Dar pe vremea Hypatiei Evul Întunecat încă nu începuse, iar lupta dintre exponenții culturii greceşti şi fundamentalismul religios încă nu omorâse spiritul cercetării raționale. Istoria putea fi foarte diferită dacă cineva din Alexandria romană, sau din marile centre de învățătură care au înflorit în lumea islamică câteva secole mai târziu, ar fi abandonat universul geocentric. Totuşi, savanții cei mai străluciți, în condițiile cele mai bune, nu au putut face saltul conceptual de a imagina că legile matematice care guvernează mişcarea în sfera terestră, sau forțele dinamice, joacă un rol în cer. A fost nevoie ca sferele care separă cele două tărâmuri să fie sfărâmate pentru ca Galilei şi Kepler să-şi poată face descoperirile.

Dar nici ei nu au putut face pasul următor, acela de a vedea unitatea dintre parabola terestră şi elipsa planetară. Pentru aceasta a fost nevoie de Isaac Newton.

Fiindcă au trăit după sfărâmarea sferelor, Galilei şi Kepler s-ar fi putut întreba dacă un obiect aruncat cu destulă putere începe să orbiteze, sau dacă încetinirea mişcării orbitale duce la cădere. Pentru noi este limpede că acestea nu sunt două fenomene distincte, ci unul singur. Dar pentru ei nu era

evident. Uneori este nevoie de o generație sau mai multe pentru ca implicațiile cele mai simple ale noilor descoperiri să se impună atenției. O jumătate de secol mai târziu, Newton a înțeles că mişcarea orbitală este o formă de cădere şi a încheiat unificarea cerului cu Pământul.

Un indiciu a fost unitatea matematică a celor două curbe care codifică mişcarea. Elipsele descriu orbitele planetare, iar parabolele descriu traiectoriile corpurilor care cad pe Pământ. Aceste două curbe sunt strâns înrudite: ambele pot fi obținute prin intersectarea unui con cu un plan. Curbele care pot fi construite în felul acesta se numesc secțiuni conice; celelalte exemple sunt cercurile şi hiperbolele.

Problema pentru a doua jumătate a secolului XVII a fost să descopere unitatea fizică subiacentă acestei unități matematice. Intuiția care l-a îndemnat pe Newton să inițieze Revoluția Ştiințifică a fost asupra naturii, nu a matematicii, şi nu a fost doar a lui. Mai mulți dintre contemporanii săi înțeleseseră marele secret: *Forța care obligă totul pe Pământ să cadă spre el este universală şi acționează de asemenea pentru a atrage planetele către Soare şi Luna către Pământ*. Gravitația.

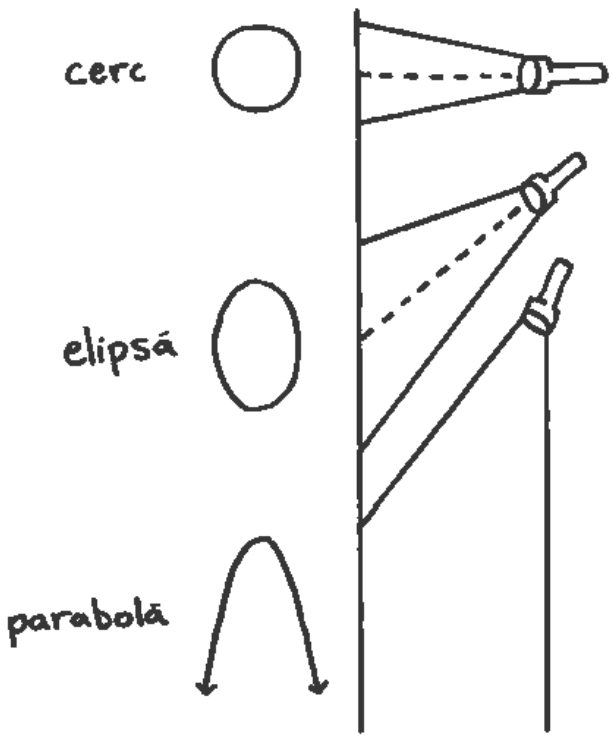


Fig. 3. Secțiunile conice ilustrate cu ajutorul imaginii proiectate de o lanternă pe un perete.

Potrivit legendei, Newton a avut această revelație în timp ce stătea în grădina lui şi se gândea la mişcarea Lunii, observând totodată merele care cădeau din pom. Întru completarea gândului, el a pus o altă întrebare crucială: cum descreşte acea forță cu distanța dintre obiecte? Fiindcă ea trebuie să descrească, altminteri am fi atraşi mai mult de Soare decât de Pământ. Şi cum produce mişcare o forță?

Şi alții au pus aceste întrebări, de pildă Robert Hooke, contemporanul lui Newton, dar adevărata realizare a lui Newton au fost răspunsurile la ele. Eforturile sale au durat două decenii şi au avut ca rezultat teoria mişcării şi a forțelor pe care o numim fizica newtoniană.

Pentru scopurile noastre, aspectul cel mai important legat de aceste întrebări este că sunt matematice. Modul cum descreşte o forță în funcție de distanță poate fi specificat printr-o ecuație simplă. Răspunsul corect, aşa cum ştie orice elev din primul an în care studiază fizica, este că forța scade direct proporțional cu pătratul distanței. Consecința frapantă pentru perspectiva noastră asupra naturii este că o asemenea relație matematică simplă surprinde un fenomen universal din natură. Nu era necesar ca natura să fie atât de uimitor de simplă – şi, într-adevăr, anticii nu avuseseră niciodată în vedere o asemenea aplicare simplă şi universală a matematicii la cauzele mişcării.

Pentru a investiga în ce fel o forță produce mişcare, gândiți-vă la un obiect care se mişcă şi descrie o curbă în spațiu. Întrebarea atunci este cum diferă curba dacă asupra obiectului acționează sau nu o forță. Răspunsul este enunțat în primele două legi ale lui Newton. Dacă nu există nici o forță, curba de-a lungul căreia se mişcă corpul este o linie dreaptă. Prezența unei forțe produce o accelerare a corpului.

Este imposibil să enunțăm aceste legi fără matematică. O linie dreaptă este un concept matematic ideal; ea nu există în lumea

noastră, ci în lumea platoniciană a curbelor ideale. Şi ce este accelerația? Este rata de schimbare a vitezei, care la rândul ei este rata de schimbare a poziției. Pentru a descrie adecvat acest lucru, Newton a trebuit să inventeze o întreagă nouă ramură a matematicii: calculul infinitezimal.

Odată ce dispunem de matematica necesară, consecințele pot fi deduse în mod direct. Una dintre primele întrebări la care a trebuit să răspundă Newton cu ajutorul noilor sale instrumente[6] a fost ce traiectorie urmează o planetă sub acțiunea unei forțe produse de Soare şi care scade direct proporțional cu pătratul distanței. Răspunsul: traiectoria poate fi o elipsă, o parabolă sau o hiperbolă, după cum planetele se mişcă pe orbite închise sau trec o singură dată prin dreptul Soarelui. Newton a reuşit de asemenea să înglobeze legile căderii ale lui Galilei în legea lui a gravitației.[7] Galilei şi Kepler văzuseră aşadar aspecte diferite ale unui singur fenomen, care este gravitația.

Puține lucruri în istoria gândirii umane sunt mai profunde decât descoperirea identității ascunse între cădere şi mişcarea orbitală. Dar enorma realizare a lui Newton are şi o consecință neintenționată, anume că datorită operei sale perspectiva noastră

asupra naturii a devenit mult mai matematică decât era înainte. Aristotel şi contemporanii săi descriseseră mişcarea în termenii unor tendințe: obiectele pământeşti tind să caute centrul Pământului, aerul tinde să se îndepărteze de centru şi aşa mai departe. Ştiința lor a fost esențialmente descriptivă. Nu există nici o sugestie că traiectoriile de-a lungul cărora se deplasează obiectele ar avea proprietăți speciale, şi ca atare ei nu au fost interesați să aplice matematica la descrierea mişcării Pământului. Matematica, fiind atemporală, era divină şi aplicabilă doar acelor fenomene divine şi atemporale pe care le vedem pe cer.

Când Galilei a descoperit că traiectoria corpurilor în cădere este o curbă matematică simplă, el a surprins un aspect al divinului, l-a coborât din cer şi a arătat că poate fi descoperit în mişcarea obiectelor obişnuite de pe Pământ. Newton a demonstrat că imensa varietate a mişcărilor de pe Pământ şi din cer, indiferent că sunt provocate de gravitație sau de alte forțe, sunt manifestări ale unei unități ascunse. Diversele mişcări sunt toate consecințe ale unei singure *legi de mişcare*.

De când Newton a încheiat unirea mişcărilor din cer şi de pe Pământ, trăim

într-o singură lume, unificată. Şi este o lume impregnată de divinitate, fiindcă matematica atemporală este esența oricărei mişcări, pe Pământ şi în cer. Dacă atemporalitatea şi eternitatea sunt aspecte ale divinului, atunci lumea noastră – sau, mai bine zis, întreaga istorie a lumii noastre – poate fi la fel de eternă şi de divină ca o curbă matematică.

3. Un joc cu mingea

Pentru abordarea problemelor puse în primele două capitole, trebuie să ştim mai multe despre definirea mişcării. Nimic nu pare mai simplu: mişcarea este schimbarea poziției în decursul timpului. Dar ce este poziția, şi ce este timpul?

Există două răspunsuri date de fizicieni la problema aparent inofensivă de a defini poziția. Primul este ideea de bun-simț că poziția unui obiect se defineşte în raport cu un anumit reper; al doilea este că poziția în spațiu are un caracter absolut, mai presus de relația cu altceva. Aceste noțiuni poartă numele de spațiu relațional şi, respectiv, absolut.

Noțiunea relațională de poziție ne este familiară tuturor. Mă aflu acum la un metru de scaun. Avionul se apropie de aeroport dinspre vest şi se află la doi kilometri de capătul pistei 1, la o înălțime de 300 de metri. Acestea sunt descrieri ale poziției relative.

Dar poziția relațională pare să omită ceva. Unde este reperul ultim? Indicăm

coordonatele noastre pe Pământ, dar unde este Pământul? La atâția kilometri de Soare, în direcția constelației Aquarius. Dar unde este Soarele? La atâția mii de ani-lumină de centrul galaxiei Calea Lactee. Şi aşa mai departe.

Procedând în felul acesta putem indica poziția oricărui lucru din univers în raport cu oricare altul. Acestea sunt o mulțime de informații, dar oare sunt de ajuns? Nu există o noțiune absolută de poziție – unde este ceva *cu adevărat*, dincolo de toate aceste poziții relative?

Dezbaterea între conceptele de spațiu relațional şi absolut se întinde pe toată istoria fizicii. În linii mari, fizica lui Newton a fost un triumf al imaginii absolute, răsturnată de teoria relativității a lui Einstein, care a stabilit perspectiva relațională. Eu cred că perspectiva relațională este cea corectă, şi sper să-l conving pe cititor. Dar aş vrea de asemenea să-i ofer cititorului o imagine vie a motivului pentru care savanți precum Newton au adoptat perspectiva absolută, şi la ce se renunță atunci când o respingem în favoarea perspectivei relaționale.

Pentru a înțelege cum s-a gândit Newton la problemă, trebuie să avem în vedere nu doar poziția, ci şi mişcarea. Să lăsăm

deocamdată la o parte timpul şi să aplicăm ceea ce tocmai am discutat. Dacă poziția este relativă, atunci mişcarea e schimbarea poziției relative – altfel spus, schimbarea poziției în raport cu un corp de referință.

Toate discuțiile obişnuite despre mişcare se referă la mişcarea relativă. Galilei a studiat corpurile care cad în raport cu suprafața Pământului. Arunc o minge şi văd că se îndepărtează de mine. Pământul se mişcă în jurul Soarelui. Toate acestea sunt exemple de mişcare relativă.

O consecință a mişcării relative este că cine sau ce se mişcă este întotdeauna o chestiune de perspectivă. Pământul şi Soarele se mişcă unul în jurul celuilalt, dar care din ele se mişcă într-adevăr? Este adevărată povestea că Soarele se roteşte în jurul unui Pământ fixat în centrul universului? Sau Soarele este fix, iar Pământul se roteşte în jurul lui? Dacă mişcarea este doar relativă, atunci nu poate exista un răspuns corect la aceste întrebări.

Faptul că nimic nu poate fi în mişcare sau repaus absolut face ca explicarea cauzelor mişcării să fie dificilă. Cum ar putea ceva să fie cauza mişcării Pământului în jurul Soarelui dacă există un punct de vedere diferit şi la fel de valabil potrivit căruia

Pământul e nemişcat? Dacă mişcarea este relativă, un observator e liber să adopte punctul de vedere că toate mişcările se definesc în raport cu el. Pentru a rezolva impasul şi a putea vorbi despre cauzele mişcării, Newton a propus ideea că trebuie să existe o semnificație absolută a poziției. Aceasta a fost, pentru el, poziția în raport cu ceea ce el a numit „spațiu absolut“. Corpurile se mişcă sau nu, într-un sens absolut, în raport cu acest spațiu absolut. Newton a argumentat că Pământul, nu Soarele, se mişcă în mod absolut.

Postularea spațiului absolut opreşte regresia infinită şi dă sens poziției fiecărui lucru din univers, fără a fi nevoie de raportarea la nimic altceva. Aceasta poate fi o noțiune confortabilă, dar există o problemă. Unde e spațiul acesta absolut, şi cum poți măsura poziția unui corp în raport cu el?

Nimeni nu a văzut sau detectat vreodată spațiul absolut. Nimeni nu a măsurat vreodată o poziție care să nu fie relativă. De aceea, în măsura în care ecuațiile fizicii se referă la poziția în spațiul absolut, ele nu pot fi puse în legătură cu experimentul.

Newton ştia lucrul acesta şi nu l-a deranjat. El a fost un gânditor profund religios, iar spațiul absolut avea pentru el o

semnificație teologică. Dumnezeu vedea lumea în termenii spațiului absolut, iar asta a fost suficient pentru Newton. El s-a exprimat într-un mod şi mai categoric: spațiul este una dintre percepțiile lui Dumnezeu. Lucrurile există în spațiu fiindcă ele există în mintea lui Dumnezeu.

Nu-i atât de straniu pe cât pare, dacă eşti un maestru hermeneut, aşa cum a fost Newton. El a consacrat ani de muncă pentru a căuta semnificații ascunse în Scripturi, iar ca alchimist a căutat codul ascuns pentru virtute şi poate pentru nemurire. Ca fizician, a descoperit legi universale care guvernează toate mişcările din univers, dar anterior fuseseră ascunse. Era în firea lui să creadă că esența spațiului este ascunsă simțurilor noastre, dar e percepută de Dumnezeu.

În plus, el avea un argument fizic pentru spațiul absolut. Chiar dacă poziția în spațiul absolut nu poate fi omeneşte percepută, unele tipuri de mişcare în raport cu acesta pot fi.

Copiii nu pot zbura, dar se pot învârti. Şi se-nvârt. Nimic nu se compară cu bucuria de pe fața unui copil care tocmai a descoperit că se poate ameți. Oricând vrea, iar şi iar. Încă odată! Newton n-a avut copii, dar îmi place să mi-l imaginez redus la tăcere de bucuria

micii sale nepoate, Catherine, care se-nvârtea prin biroul său. Newton ia copila care se clatină şi râde, o aşază pe genunchii săi şi îi spune că amețeala ei este o percepție directă a spațiului absolut. Iar spațiul absolut este Dumnezeu. „Ceea ce simți atunci când eşti amețită este mâna lui Dumnezeu asupra ta“, propune el. Fetița chicoteşte şi se vânzoleşte când el începe să-i explice că e amețită nu fiindcă se roteşte în raport cu mobila, sau cu casa, sau cu pisica, ci fiindcă se învârte în raport cu spațiul însuşi. Iar dacă spațiul poate s-o amețească, trebuie să fie ceva real. „De ce?“ spune ea, sărindu-i din poală ca să fugărească pisica afară din cameră. Să-l lăsăm pe Newton acolo, cugetând asupra gravitației şi a faptului că suntem muritori, şi să revenim la întrebarea cum se defineşte mişcarea.

Când spunem că ceva se mişcă, înțelegem că-şi schimbă poziția în timp. Este o chestiune de bun-simț, dar pentru a fi preciși trebuie să fim siguri că ştim ce înțelegem prin timp. Ne confruntăm aici cu aceeaşi dilemă relațional-absolut.

Oamenii percep timpul ca schimbare. Timpul când are loc un eveniment se măsoară în raport cu alte evenimente – de exemplu indicația cadranului unui ceas.

Toate indicațiile ceasurilor şi calendarelor sunt timpi relativi, aşa cum adresele sunt poziții relative. Dar Newton a crezut că în spatele schimbării se ascunde un timp absolut, pe care îl percepe Dumnezeu.

Iată o mostră din dezbaterea aprigă pe tema timpului absolut care nu a încetat de atunci încoace. Gottfried Leibniz, rivalul lui Newton, credea şi el în Dumnezeu, dar Dumnezeul lui nu era liber, precum cel al lui Newton, să acționeze după bunul său plac. Leibniz venera un Dumnezeu rațional în cel mai înalt grad. Dar dacă Dumnezeu este perfect rațional, atunci totul în natură trebuie să aibă o rațiune. Acesta e principiul rațiunii suficiente al lui Leibniz. Un mod de a-l enunța este că fiecare întrebare de forma „De ce universul este aşa, şi nu altminteri?“ trebuie să aibă un răspuns rațional. Există, firește, întrebări cărora nu li se poate da un răspuns rațional. În opinia lui Leibniz, a pune o întrebare ce nu admite un răspuns justificat rațional înseamnă a comite o eroare de gândire.

Leibniz şi-a ilustrat principiul astfel: la întrebarea „De ce universul a început atunci când a început şi nu zece minute mai târziu?“, el a răspuns că nu există nici un motiv rațional pentru a prefera istoria aceasta

a universului uneia în care totul se petrece zece minute mai târziu. Toți timpii relativi vor fi aceiaşi în ambele universuri; numai timpii absoluți diferă. Dar legile naturii vorbesc numai despre timpi relativi. În consecință, a argumentat Leibniz, dacă nu există nici un motiv pentru a prefera ca universul să înceapă la un moment de timp absolut mai degrabă decât la altul înseamnă că timpul absolut nu are nici o semnificație.

Eu accept raționamentul lui Leibniz, de aceea ori de câte ori mă voi referi la timp, voi înțelege un timp relativ. Într-adevăr, deşi se poate discuta despre un posibil sens transcendent în care timpul absolut există, un lucru sigur este că noi, oamenii, trăind în lumea reală, avem acces numai la timpi relativi. De aceea pentru a descrie mişcările vom considera că timpul e măsurat de ceasuri. Pentru scopurile noastre, un ceas este orice dispozitiv care afişează un şir crescător de numere.

Acum că am definit atât timpul, cât şi poziția, putem merge mai departe să măsurăm mişcarea: mişcarea este schimbarea poziției, măsurată în raport cu un anumit obiect de referință, într-o perioadă de timp, măsurată în raport cu indicația unui ceas.

Aceasta ne duce la următorul pas crucial în argumentația noastră. Pentru a face ştiință nu e suficient să formulăm definiții şi să argumentăm în privința conceptelor. Trebuie să măsurăm mişcări. Aceasta presupune folosirea unor instrumente precum ceasuri şi rigle pentru a asocia numere pozițiilor şi timpilor.

Spre deosebire de poziția absolută, care este invizibilă, distanțele relative şi timpii relativi pot fi măsurați prin numere, care la rândul lor pot fi înregistrate pe o foaie de hârtie sau într-o memorie digitală. În felul acesta, observațiile asupra mişcării sunt transformate în tabele de numere ce pot fi studiate cu metode din matematică. O asemenea metodă este să trasăm un grafic al înregistrărilor, convertind tabelele numerice în imagini capabile să ne stimuleze înțelegerea şi imaginația.

Acest instrument puternic a fost dezvoltat de René Descartes şi este predat acum fiecărui elev. Fără îndoială Kepler a făcut asta în timp ce se lupta cu datele lui Tycho despre orbita lui Marte. În figura 4 vedem un grafic al orbitei Lunii în raport cu Pământul.

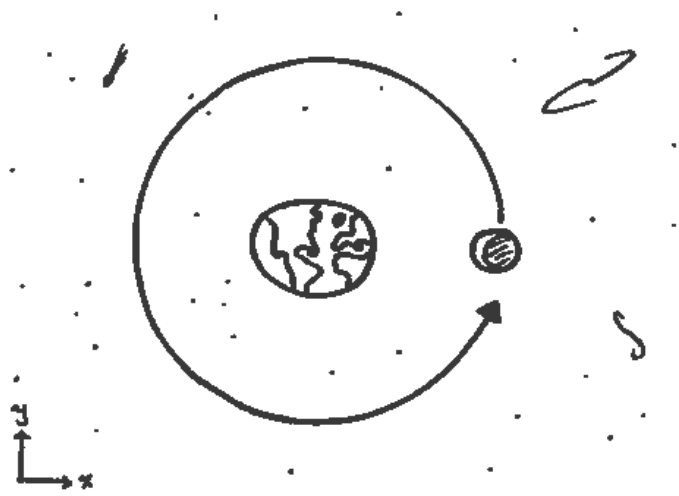


Fig. 4. Grafic al orbitei Lunii în jurul Pământului.

În şcoală am învățat încă o metodă de a descrie o mişcare, care constă în a adăuga o axă pentru timp şi a reprezenta grafic poziția în funcție de timp. Aceasta reprezintă orbita sub forma unei curbe în spațiu şi timp, ca în figura 5. Vedem acum orbita Lunii reprezentată printr-o spirală; când ea revine în poziția inițială, a trecut o lună.

De remarcat că prin reprezentarea grafică a observațiilor, s-a înfăptuit ceva minunat. Curba din figura 5 reprezintă măsurătorile efectuate pe când ceva a evoluat în timp, dar măsurătorile sunt ele însele atemporale – altfel spus, odată efectuate, ele nu se mai schimbă. Iar curba care le reprezintă e de asemenea atemporală. Prin metoda aceasta am făcut din mişcare – adică schimbarea în lume – un subiect de studiu pentru matematică, care e studiul unor obiecte ce nu se schimbă.

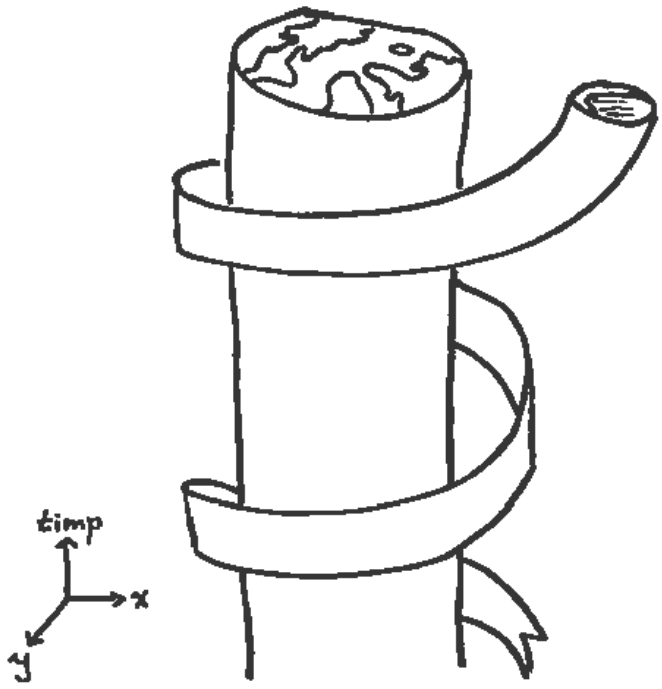


Fig. 5. Grafic al orbitei Lunii în jurul Pământului.

Capacitatea de a încremeni timpul în felul acesta a fost de mare ajutor în ştiință, fiindcă nu trebuie să urmărim mişcarea decurgând în timp real; putem studia înregistrarea mişcărilor trecute ori de câte ori vrem. Dar dincolo de utilitatea ei, invenția aceasta are consecințe filozofice profunde, deoarece susține argumentul că timpul este o iluzie. Metoda încremenirii timpului a funcționat atât de bine, încât majoritatea fizicienilor nu-şi dau seama că s-a jucat o festă modului cum înțeleg ei natura. Festa aceasta a fost un pas mare în eliminarea timpului din descrierea naturii, întrucât ne invită să ne punem întrebări asupra corelației dintre real şi matematic, dintre temporal şi atemporal.

Corelația aceasta e atât de importantă, încât vreau s-o ilustrez printr-un exemplu din viața de zi cu zi. Toate aceste subiecte serioase nu conțin nimic care să nu poată fi înțeles dintr-un joc cu mingea.

*

În jurul orei 1:15 p.m. pe data de 4 octombrie 2010, în partea de est a High Park din Toronto, un romancier pe nume Danny a aruncat o minge de tenis, pe care o găsise în dimineața aceea în sertarul cu şosete, unei poete pe care tocmai o întâlnise, Janet.

Pentru a studia aruncarea lui Danny din perspectiva fizicii, procedăm la fel ca Tycho şi Kepler în privința planetei Marte. Observăm mişcarea şi notăm pozițiile mingii la o serie de momente de timp, după care reprezentăm grafic rezultatele. În acest scop, trebuie să precizăm poziția mingii în raport cu un anumit obiect, care poate fi Danny însuşi. Mai avem nevoie şi de un ceas.

Mingea se mişcă repede, iar aceasta a fost o dificultate pentru Galilei, dar noi putem filma aruncarea lui Danny şi măsura poziția mingii în fiecare cadru, împreună cu timpul cadrului. Din poziția mingii într-un cadru obținem două numere, înălțimea mingii față

de sol şi distanța față de Danny. (Spațiul este, desigur, tridimensional, de aceea trebuie să precizăm direcția aruncării lui Danny. Voi ignora aici această complicație, spunând doar că mingea e aruncată spre sud.) Dacă includem timpul fiecărui cadru, înregistrarea traiectoriei mingii constă dintr-o serie de triplete de numere, un triplet pentru fiecare cadru al filmului:

(timpul 1, înălțimea 1, distanța 1)
(timpul 2, înălțimea 2, distanța 2)
(timpul 3, înălțimea 3, distanța 3)

Şi aşa mai departe.

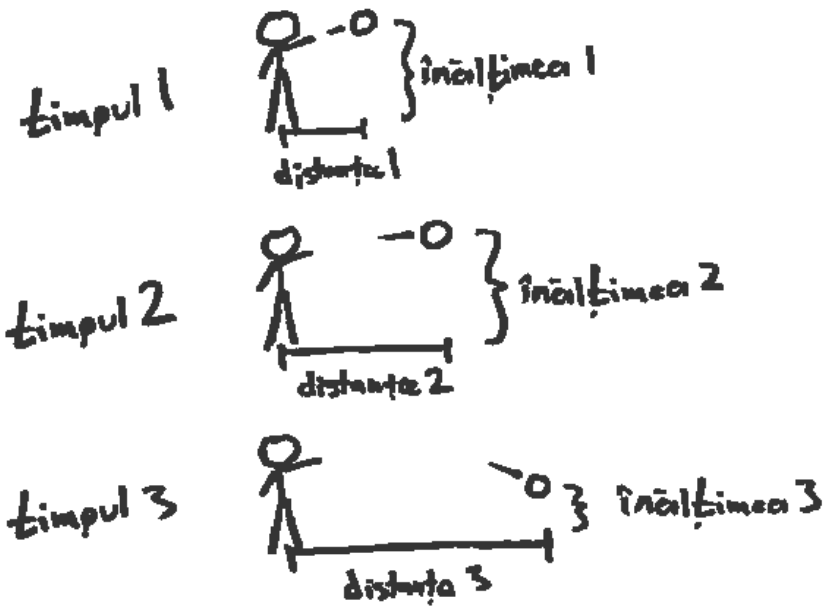


Fig. 6. Măsurarea aruncării lui Danny.

Aceste liste de numere sunt instrumente importante pentru un studiu ştiinţific al mişcării. Dar ele nu sunt mişcarea însăşi. Sunt doar nişte numere a căror semnificație e dată de măsurătorile pe care le efectuăm

asupra unei mingi în zbor într-o anumită împrejurare. Fenomenul real diferă în mai multe moduri de lista de numere care e înregistrarea lui. De exemplu, multe trăsături ale mingii au fost neglijate. I-am înregistrat numai pozițiile, dar mingea are de asemenea culoare, greutate, formă, mărime şi compoziție. Mai important, fenomenul a decurs în timp: el s-a petrecut o singură dată, după care a dispărut în trecut. Ce a rămas este înregistrarea, iar aceasta e încremenită, imuabilă.

Următorul pas este să reprezentăm grafic informația din înregistrare. Figura 7 este o imagine a traiectoriei mingii în spațiu. Vedem că mingea în zbor a descris o parabolă, exact cum a prezis Galilei.

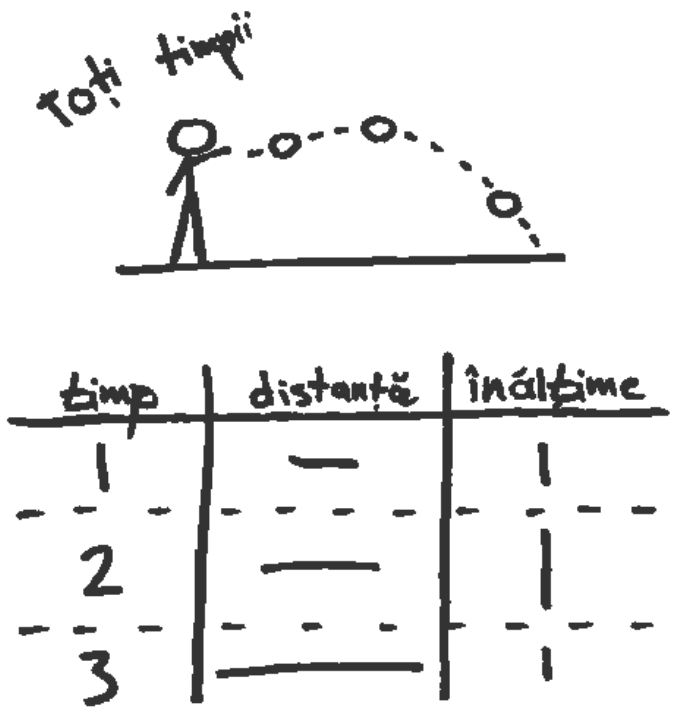


Fig. 7. Aruncarea lui Danny, înregistrată şi reprezentată grafic.

Vedem din nou că procesul înregistrării unei *mişcări*, care are loc în timp, produce o *înregistrare*, care este încremenită în timp – o înregistrare ce poate fi reprezentată de o curbă într-un grafic, de asemenea încremenit în timp.

Unii filozofi şi fizicieni văd în asta o înțelegere profundă a naturii realității. Alții susțin contrariul – că matematica este doar un instrument a cărui utilitate nu pretinde să considerăm că lumea este matematică în esența ei. Putem numi vocile acestea rivale *misticul* şi *pragmaticul*.

Pragmaticul va susține că nu e nimic greşit în a verifica ipotezele despre legile de mişcare convertind mişcarea în numere aranjate în tabele şi căutând tipare în acele tabele. Dar el va insista că reprezentarea matematică a unei mişcări printr-o curbă nu implică în nici un fel identitatea între mişcare şi reprezentarea ei. Însuşi faptul că mişcarea are loc în timp, pe când reprezentarea matematică este atemporală, înseamnă că ele nu sunt acelaşi lucru.

Unii fizicieni după Newton au adoptat perspectiva misticului potrivit căreia curba matematică este „mai reală“ decât mişcarea însăşi. Marea atracție a conceptului de realitate matematică mai profundă este

atemporalitatea sa, în contrast cu succesiunea trecătoare a experiențelor. Cedând tentației de a combina reprezentarea cu realitatea şi a identifica graficul înregistrărilor mişcării cu mişcarea însăşi, aceşti oameni de ştiință au făcut un pas mare în direcția eliminării timpului din perspectiva noastră asupra naturii.

Confuzia se agravează atunci când reprezentăm timpul ca o axă pe un grafic, aşa cum am făcut în figura 5. În figura 8, informația despre traiectoria mingii lui Danny include indicațiile unui ceas, prezentate ca şi cum ar fi măsurători făcute cu o riglă. Asta se poate numi spațializarea timpului.

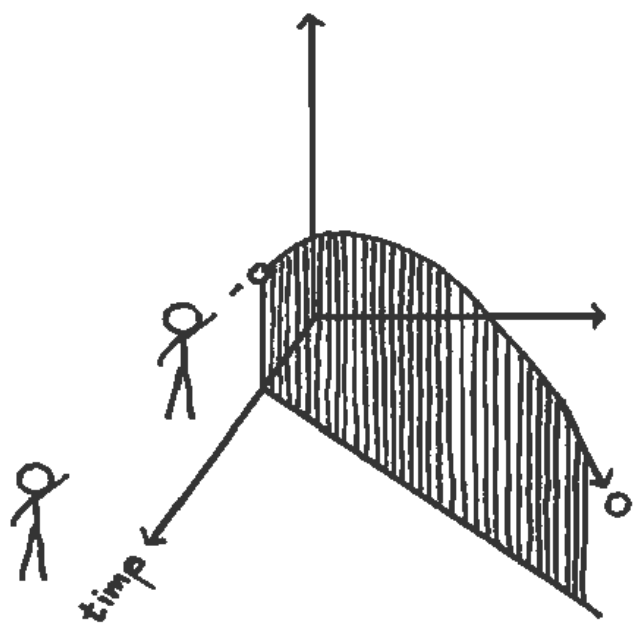


Fig. 8. Aruncarea lui Danny reprezentată grafic ca o curbă în spațiu şi timp.

Iar asocierea matematică a reprezentărilor spațiului şi timpului, fiecare având propria sa

axă, poate fi numită *spațiu-timp*. Pragmaticul va insista că spațiul-timp nu e lumea reală. Este în întregime o invenție umană, doar o altă reprezentare a înregistrării procesului în care Danny îi aruncă mingea lui Janet. Confundând spațiul-timp cu realitatea, comitem o eroare, ce poate fi numită eroarea spațializării timpului. Este o consecință a neglijării distincției dintre înregistrarea mişcării în timp şi timpul însuşi.

Odată ce-ai comis eroarea aceasta, eşti liber să fabulezi că universul este atemporal, sau chiar că nu e decât matematică. Dar, spune pragmaticul, atemporalitatea şi matematica sunt proprietăți ale înregistrărilor mişcării – nimic mai mult. Ele nu sunt, şi nu pot fi, proprietăți ale mişcărilor reale. Într-adevăr, e absurd să spui că mişcarea este „atemporală“, fiindcă mişcarea nu este *nimic altceva* decât o expresie a timpului.

Există un motiv simplu pentru care nici un obiect matematic nu va oferi vreodată o reprezentare completă a istoriei universului, acela că universul are o proprietate pe care nici o reprezentare matematică a sa n-o poate avea. Aici, în lumea reală, este întotdeauna un anumit moment de timp, un moment prezent. Nici un obiect matematic nu poate

avea această particularitate, fiindcă, odată construite, obiectele matematice sunt atemporale.[1]

Cine are dreptate, pragmaticul sau misticul? Aceasta e întrebarea de care depinde viitorul fizicii şi al cosmologiei.

4. A face fizică într-o cutie

În liceu, am fost distribuit în piesa lui Jean-Paul Sartre *Cu uşile închise*. Am jucat rolul lui Joseph Garcin, un bărbat încuiat într-o încăpere mică împreună cu două femei, toți trei decedați. Piesa este o versiune extremă a unei societăți închise; ea i-a permis dramaturgului să examineze consecințele opțiunilor noastre morale. În scena culminantă eu trebuia să trântesc uşa clasei, strigând faimoasa replică „Infernul sunt ceilalți!“, dar geamul de la uşă s-a spart, acoperindu-mă cu cioburi şi punând capăt carierei mele actoriceşti.

Spectacolul muzical, la fel ca teatrul, permite o examinare intensificată a emoției umane, izolându-ne într-un mediu controlat. Ca adolescent, am asistat la o reprezentație terifiantă a formației vărului meu, Suicide, în subsolul de la Mercer Arts Center, în Greenwich Village[4]. Solistul vocal a încuiat uşile şi a hipnotizat audiența cu o arie lungă şi ucigătoare, cântată pe acordurile repetate obsesiv ale piesei clasice de garage-rock „96 de lacrimi“. Atmosfera a devenit claustrofobă

pe măsură ce cântărețul devenea tot mai amenințător, dar la fel ca personajele din piesa lui Sartre, eram blocați. Mai recent, metoda cunoaşterii-prin-claustrofobie a fost adoptată de artişti conceptuali care închid perechi neverosimile – precum un artist şi un om de ştiință – într-o încăpere timp de 24 de ore şi filmează tot ce se întâmplă.[1]

Atât la teatru cât şi în concert, izolarea e falsă. Cu suficient efort, oricine ar putea ieşi oricând. Nu o facem, fiindcă avem mult de învățat supunându-ne rigorilor unui mediu social redus. Mai puțin real este, în acest sens, mai real. Arta caută universalul prin examinarea în amănunt a particularului[2], ceea ce pentru a reuşi necesită adesea un cadru restrâns în mod artificial.

La fel este şi în fizică. Majoritatea cunoştințelor noastre despre natură provin din experimente în care delimităm şi izolăm în mod artificial un fenomen din vârtejul continuu al universului. Căutăm să înțelegem aspectele universale ale fizicii restrângându-ne atenția la fenomenele cele mai simple. Metoda de a restrânge atenția la o mică parte a universului a făcut posibil succesul fizicii încă de pe vremea lui Galilei. Eu o numesc *a face fizică într-o cutie*. Metoda aceasta are mari avantaje, dar şi câteva neajunsuri, iar

ambele sunt esențiale pentru povestea noastră despre eliminarea timpului din fizică şi renaşterea lui.

Trăim într-un univers în continuă schimbare, plin cu materie în continuă mişcare. Ce au învățat să facă Descartes, Galilei, Kepler şi Newton a fost să izoleze mici fragmente de lume, să le examineze şi să înregistreze schimbările produse în ele. Ei ne-au arătat cum să prezentăm mişcările acestea sub forma unor grafice simple ale căror axe reprezintă pozițiile şi timpii într-un mod încremenit, şi ca atare apt a fi studiat pe îndelete.

Să observăm că pentru a aplica matematica unui sistem fizic, mai întâi trebuie să-l izolăm şi, mental, să-l separăm din complexitatea mişcărilor care constituie universul real. Nu am ajunge prea departe cu studiul mişcării dacă ne-ar preocupa felul cum orice lucru din univers le afectează pe toate celelalte. Pionierii fizicii, de la Galilei la Einstein şi până în ziua de azi, au progresat fiindcă au putut să izoleze un subsistem simplu, precum un joc cu mingea, şi să studieze mişcarea mingii. În realitate însă, o minge în zbor e influențată în nenumărate moduri de lucruri din afara subsistemului pe care l-am definit.

Descrierea simplă a unui joc cu mingea ca un sistem izolat e o aproximare grosieră a lumii reale – deşi s-a dovedit rodnică în descoperirea unor principii fundamentale ce par să guverneze toate mişcările din universul nostru.[3]

Tipul acesta de aproximație, în care ne restrângem atenția la câteva variabile sau la câteva obiecte sau particule, este caracteristic modului de a face fizică într-o cutie. Pasul esențial e selectarea, din întregul univers, a subsistemului pe care să-l studiem. Aspectul esențial este că aceasta reprezintă întotdeauna o aproximație a unei realități mai bogate.

Este uşor să generalizăm tratarea jocului cu mingea la un mare număr de sisteme pe care le studiem în fizică. Pentru a studia un sistem, trebuie să definim ce conține şi ce excludem din el. Tratăm sistemul ca şi cum ar fi izolat de restul universului, iar izolarea aceasta este ea însăşi o aproximare drastică. Nu putem scoate sistemul din univers, de aceea în orice experiment putem doar reduce, dar niciodată elimina complet influențele exterioare asupra sistemului. În multe cazuri putem realiza asta cu suficientă precizie pentru a face din idealizarea unui sistem izolat un construct intelectual util.

O parte a definiției unui subsistem este o listă cu toate variabilele pe care trebuie să le măsurăm pentru a determina tot ce vrem să ştim despre el la un moment dat. Lista acestor variabile formează o abstracțiune pe care o numim *configurația sistemului*. Pentru a reprezenta mulțimea tuturor configurațiilor posibile, definim un spațiu abstract numit spațiul configurațiilor. Fiecare punct din spațiul configurațiilor reprezintă o configurație posibilă a sistemului.

Procesul prin care este definit spațiul configurațiilor începe cu extragerea subsistemului din universul mai mare. Prin urmare, spațiul configurațiilor este întotdeauna o aproximație a unei descrieri mai profunde şi mai complete. Atât configurația, cât şi reprezentarea ei într-un spațiu al configurațiilor sunt abstracțiuni – invenții umane utile pentru metoda de a face fizică într-o cutie.

Pentru a descrie un joc de biliard, putem opta să înregistrăm pozițiile celor şaisprezece bile într-un tabel bidimensional. Este nevoie de două numere pentru a localiza o singură bilă de pe masă (poziția sa în raport cu lungimea şi cu lățimea mesei), deci configurația completă va necesita o listă cu 32 de numere. Spațiul configurațiilor are câte

o dimensiune pentru fiecare număr care trebuie măsurat, deci în cazul jocului de biliard este un spațiu cu 32 de dimensiuni.

Dar o bilă de biliard reală este un sistem enorm de complicat, prin urmare reprezentarea sa ca un singur obiect cu o singură poziție este o aproximație extremă. Dacă vrem o descriere mai precisă a jocului de biliard, trebuie să înregistrăm nu doar pozițiile bilelor, ci ale fiecărui atom din fiecare bilă. Aceasta necesită cel puțin 10^{24} numere, deci un spațiu al configurațiilor cu tot atâtea dimensiuni. Dar de ce să ne oprim aici? Dacă vrem o descriere la nivelul atomilor, trebuie să includem pozițiile tuturor atomilor mesei, ale tuturor atomilor din aer care ciocnesc bilele, ale tuturor fotonilor care luminează încăperea – iar apoi, de ce nu, ale tuturor atomilor din Pământ, Soare şi Lună care atrag gravitațional bilele. Tot ce este mai puțin decât o descriere cosmologică va fi o aproximație.

Altceva omis din subsistem este un ceas, pe care îl folosim pentru a preciza momentul în care se face o observație. Ceasul nu e considerat o parte a subsistemului, fiindcă se presupune că marchează timpul în mod uniform, indiferent ce se întâmplă în

subsistem. Ceasul oferă un standard în raport cu care se înregistrează mişcarea subsistemului.

Folosirea unui ceas exterior violează conceptul de timp relațional. Schimbarea în sistem este măsurată prin referire la ceasul exterior, pe care nimic din ce se petrece în sistem nu-l poate influența. Este convenabil, dar e permis numai fiindcă facem o aproximație grosieră, în care neglijăm toate interacțiunile între sistem şi tot ce se află în afara lui, inclusiv ceasul.

Dacă luăm prea în serios această metodă, am putea fi tentați să ne imaginăm un ceas exterior întregului univers, cu care putem măsura schimbarea în univers. Ajungem astfel la o gravă greşeală conceptuală, aceea de a crede că întregul univers evoluează în raport cu o noțiune de timp absolut din afara lui. Newton a comis greşeala asta fiindcă era prizonierul fanteziei că fizica pe care a inventat-o captează viziunea lui Dumnezeu asupra întregului univers. Greşeala a persistat până când Einstein a corectat-o – găsind în cadrul teoriei relativității o modalitate de a plasa ceasul în interiorul universului –, iar noi nu trebuie s-o repetăm.

Totuşi, atât timp cât nu o luăm prea în serios, imaginea unui mic subsistem al

universului a cărui evoluție în timp e măsurată de indicațiile unui ceas exterior este o aproximație utilă. La fiecare măsurătoare, obținem o listă de numere caracterizând configurația în acel moment, şi care apoi defineşte un punct în spațiul configurațiilor. Presupunând că măsurătorile timpului se succedă cu repeziciune, putem reprezenta în mod ideal această mulțime de puncte ca o curbă în spațiul configurațiilor (vezi figura 9). Ea reprezintă o istorie a subsistemului, aşa cum este captată de un şir de măsurători ale configurațiilor sale.

Fig. 9. Spațiul configurațiilor şi o istorie în el. X marchează un moment de timp.

La fel ca în cazul mingii lui Danny în jocul său cu Janet, timpul a dispărut din imagine. Ce a rămas este o traiectorie prin spațiul configurațiilor posibile. Traiectoria aceasta este o curbă care rezumă informația dintr-un set de înregistrări a ceva ce s-a întâmplat în trecut. Când am terminat, avem o reprezentare a mişcării subsistemului –

mişcare care s-a desfăşurat în timp, o singură dată – printr-un obiect matematic atemporal, care este o curbă în spațiul configurațiilor posibile ale subsistemului.

Spațiul configurațiilor este atemporal; se presupune că el există pur şi simplu, veşnic. Când îl numesc „spațiul configurațiilor posibile“, înțeleg că dacă aş vrea, aş putea pune subsistemul în oricare dintre acele configurații în orice moment. Istoria sistemului e reprezentată atunci printr-o curbă care începe în acea configurație inițială. Curba respectivă, odată trasată, este atemporală. Aceasta ne readuce la întrebarea-cheie: dispariția timpului din reprezentare e o înțelegere profundă a naturii realității, sau doar o consecință înşelătoare şi neintenționată a unei metode pentru descrierea aproximativă a unor mici părți din univers?

*

Newton a făcut mai mult decât să inventeze o metodă pentru a descrie mişcarea, el a inventat o metodă pentru a o prezice. Galilei a descoperit că în cazul unei mingi aruncate curba este o parabolă. Newton ne-a oferit o metodă pentru a determina care va fi curba într-o diversitate enormă de cazuri. Acesta e

conținutul celor trei legi newtoniene ale mişcării. Ele pot fi rezumate după cum urmează:

Pentru a prezice cum se va deplasa o minge, sunt necesare trei informații:

–Poziția inițială a mingii;

–viteza inițială a mingii (altfel spus, cât de repede şi în ce direcție se mişcă);

–forțele care vor influența mingea în timp ce se mişcă.

Odată precizate aceste trei date de intrare, legile de mişcare ale lui Newton pot fi folosite pentru a prezice viitoarea traiectorie a mingii. Putem programa un calculator să facă lucrul acesta pentru noi. Introduceți cele trei date de intrare, iar el va furniza traiectoria mingii. Asta înțelegem atunci când vorbim despre o „soluție“ a legilor lui Newton. O soluție este o curbă în spațiul configurațiilor. Ea reprezintă o istorie a sistemului, începând din momentul în care sistemul este preparat sau observat pentru prima oară. Acel prim moment se numeşte condiția inițială. Descriem condiția inițială atunci când specificăm poziția şi viteza inițiale. După care legile intră în acțiune şi determină restul istoriei.

O lege are un număr infinit de soluții, fiecare dintre ele descriind o istorie posibilă a sistemului în care legile sunt satisfăcute. Specificăm care istorie descrie un anumit experiment atunci când precizăm condițiile inițiale. Aşadar, pentru a prezice viitorul sau a explica ceva, nu este suficientă cunoaşterea legilor; trebuie de asemenea cunoscute condițiile inițiale. În experimentele de laborator e uşor, fiindcă experimentatorul pregăteşte sistemul pentru a porni cu o anumită condiție inițială. Legea lui Galilei a căderii corpurilor spune că mingea aruncată de Danny va trasa o parabolă. Dar care parabolă? Răspunsul e determinat de cât de repede, sub ce unghi şi din ce loc a aruncat el mingea – adică de condițiile inițiale.

Se dovedeşte că metoda aceasta e generală. Ea poate fi aplicată oricărui sistem descriptibil cu ajutorul unui spațiu al configurațiilor. Odată ce sistemul e specificat, sunt necesare aceleaşi trei date de intrare:

– *Configurația inițială a sistemului.* Aceasta precizează un punct în spațiul configurațiilor.

– *Direcția şi viteza inițiale ale schimbărilor sistemului*.

– Forțele care vor acționa asupra sistemului pe durata schimbării sale în timp.

Legile lui Newton prezic atunci curba exactă pe care o va descrie sistemul în spațiul configurațiilor.

Generalitatea şi puterea metodei lui Newton nu pot fi subestimate. Ea a fost aplicată la stele, planete, sateliți ai planetelor, galaxii, roiuri de stele, roiuri de galaxii, materie întunecată, atomi, electroni, fotoni, gaze, solide, lichide, poduri, zgârie-nori, maşini, avioane, sateliți artificiali, rachete. A fost aplicată în mod util unor sisteme formate din unul, două sau trei corpuri şi unor sisteme având 10^{23} sau 10^{60} particule. A fost aplicată câmpurilor – cum e câmpul electromagnetic – a căror definire necesită măsurarea unui număr infinit de variabile (câmpurile electric şi magnetic în fiecare punct din spațiu, de exemplu). Ea a descris un număr enorm de forțe sau interacțiuni posibile între variabilele care definesc sistemul.

Metoda de bază poate fi de asemenea aplicată în informatică, unde se numeşte studiul automatelor celulare. Şi doar cu o mică modificare, este baza pentru mecanica cuantică.

Datorită puterii sale, metoda aceasta poate fi considerată o paradigmă. O vom numi după inventatorul ei: *paradigma newtoniană*. Este un mod mai formal de a vorbi despre metoda fizicii într-o cutie.

În esență, paradigma newtoniană e construită din răspunsurile la două întrebări fundamentale:

– Care sunt configurațiile posibile ale sistemului?

– Ce forțe acționează asupra sistemului în fiecare configurație?

Configurațiile posibile se mai numesc şi *condițiile inițiale*, fiindcă le specificăm de la bun început. Regulile prin care sunt descrise forțele şi efectele lor se numesc *legi de mişcare*. Aceste legi sunt reprezentate de ecuații. Dacă se introduc condițiile inițiale în ecuații, ecuațiile furnizează evoluția în viitor a sistemului. Aceasta se numeşte rezolvarea ecuațiilor. Există un număr infinit de asemenea soluții, pentru că există un număr infinit de condiții inițiale posibile.

Trebuie să fim conştienți că această metodă puternică se bazează pe câteva ipoteze puternice. Prima afirmă că spațiul configurațiilor este atemporal. Se presupune că o anumită metodă poate furniza în avans –

adică înainte de a urmări evoluția reală a sistemului – întregul set de configurații posibile. Configurațiile posibile nu evoluează, ele doar sunt. A doua presupunere este că forțele, şi deci legile cărora li se supune sistemul, sunt atemporale. Ele nu se modifică în timp, şi de asemenea se presupune că pot fi specificate anterior studiului efectiv al sistemului.

Lecția aici este pe cât de simplă pe atât de înfricoşătoare. În măsura în care ipotezele aflate la baza paradigmei newtoniene sunt realizate în natură, timpul este neesențial şi poate fi eliminat din descrierea lumii. Dacă spațiul configurațiilor posibile poate fi specificat într-un mod atemporal, iar legile de asemenea, atunci istoria oricărui sistem nu trebuie percepută ca evoluând în timp. Pentru a răspunde oricărei întrebări pe care o poate pune fizica, e suficient să considerăm întreaga istorie a oricărui sistem ca o singură curbă încremenită în spațiul configurațiilor. Aspectul în aparență cel mai important al experienței noastre legate de lume – faptul că ni se prezintă ca o succesiune de momente prezente – lipseşte din cea mai reuşită paradigmă a noastră pentru descrierea naturii.

Am început prin a urmări o minge de tenis, având scrisă pe ea cu cerneală roşie un număr de telefon, aruncată între doi scriitori pe nume Danny şi Janet, în după-amiaza zilei de 4 octombrie 2010, în High Park. Înțelegerea noastră cea mai profundă a modului cum s-a mişcat mingea echivalează cu examinarea imaginii atemporale a unei curbe incolore într-un spațiu abstract.

---

4. Zonă rezidențială din Manhattan, New York. La începutul secolului XX, şi mai ales odată cu mişcarea *beat* din anii 1950, a devenit locul de întâlnire al artiştilor, scriitorilor şi muzicienilor nonconformişti (n .tr.).

5. Eliminarea noului şi a surprizei

Inventarea paradigmei newtoniene ca metodă generală pentru a face fizică într-o cutie a fost un pas esențial în eliminarea timpului. O consecință a fost celebrul argument în favoarea determinismului formulat de Pierre-Simon Laplace, care a pretins că dacă i s-ar da pozițiile şi mişcările exacte ale tuturor atomilor din univers, împreună cu descrierea exactă a forțelor care acționează asupra lor, ar putea prezice viitorul universului cu precizie absolută. Afirmația aceasta i-a convins de atunci pe mulți că viitorul este complet determinat de prezent.

Dar una dintre supozițiile importante ale acestui argument poate fi pusă la îndoială, aceea că metoda newtoniană poate fi extinsă asupra întregului univers, închizând totul într-o cutie. Dar fizica în cutie începe prin a izola un mic subsistem al universului. Laplace poate oare să ignore nesancționat pasul acesta?

Să revenim la jocul cu mingea din parc.

Acum e 14 august 2062, ora 3:15 după-amiaza. Laura, nepoata lui Danny şi Janet,

urmează să arunce un disc de frisbee Francescăi, fiica lui Billy şi Roxanne, care şi ea a crescut în apropierea parcului. Tocmai când Laura aruncă discul, Francesca e distrasă de sclipirea unui mesaj venit pe telefonul microcelular implantat în retina sa. Va rata ea discul?

Dacă crezi că paradigma newtoniană se aplică exact lumii, atunci crezi că în 2010 era deja determinat cu cine se vor căsători Danny şi Janet (întâmplarea face că unul cu altul, dar pe atunci nici unul dintre ei nu ar fi ghicit), când va fi conceput fiul lor, cu cine se va căsători el, când va fi concepută fiica lui, şi dacă ea va avea sau nu o predilecție pentru jocul de frisbee. Trebuie să crezi că fiecare mişcare, gând, idee şi emoție pe care le vor avea vreodată oamenii aceştia sunt deja determinate în prezent. Trebuie să crezi că lista tuturor oamenilor care vor trăi vreodată este deja alcătuită, chiar dacă e imposibil să-ți imaginezi tehnologia pentru decodificarea ei.

Trebuie să crezi nu doar că este deja determinat – şi că, de fapt, a fost de miliarde de ani – că va fi un joc de frisbee între Laura şi Francesca în după-amiaza aceea, chiar dacă ele au crescut în părți opuse ale parcului şi s-au întâlnit doar în urmă cu cinci minute.

Şi mai trebuie să crezi că acum nu se poate face nimic pentru a împiedica dezvoltarea telefoanelor microcelulare implantabile în retină, şi că nu se poate face nimic pentru a împiedica transmiterea acelui mesaj fatidic exact în momentul acela, aşa încât Francesca să fie distrasă. Va prinde ea totuşi discul de frisbee? Înainte ca microtelefonul ei să sclipească, nimeni dintre privitori nu putea şti, dar dacă viitorul este determinat, atunci există deja, în principiu, o anumită mărime măsurabilă acum care ne-ar putea spune.

Afirmația că legile fizicii, plus condițiile inițiale, determină viitorul în cele mai mici detalii este o afirmație uimitoare, fiindcă pe termen lung chiar şi cele mai neînsemnate amănunte contează. În fiecare concepere reuşită, unul dintre cei aproximativ 100 de milioane de spermatozoizi fertilizează ovulul. Aceasta s-a întâmplat de aproximativ 100 de miliarde de ori de când există oameni, şi de trilioane de ori înainte, în timpul evoluției strămoşilor noştri. Trilioane de alegeri a unuia din 100 de milioane înseamnă o cantitate enormă de informații, dar trebuie să credem că toate acestea, şi multe, multe altele, au fost scrise în condițiile inițiale ale

universului la o dată cu mult anterioară. Iar acesta este doar un mic amănunt al vieții de pe o mică planetă.

Aceasta este o parte a înțelesului afirmației că în paradigma newtoniană timpul dispare. Toate lucrurile care s-au întâmplat vreodată, care se întâmplă acum şi care se vor întâmpla vreodată sunt doar puncte pe o traiectorie în spațiul configurațiilor universului, o curbă care este deja determinată. Trecerea timpului nu aduce nici o noutate sau surpriză, fiindcă schimbarea nu e decât rearanjarea aceloraşi fapte.

Pentru ca noutatea şi surpriza să fie posibile, ceva trebuie să fie în neregulă cu paradigma newtoniană, sau cel puțin cu extinderea ei de la o metodă pentru studiul unor mici subsisteme ale universului la o descriere exactă a întregului univers. O limitare este că, dacă viitorul e determinat prin specificarea condițiilor inițiale, trebuie ştiut ce anume determină condițiile inițiale. Căutând motivele pentru care lucrurile sunt aşa cum sunt şi nu altfel, suntem împinşi tot mai adânc în trecut.

Pe măsură ce ne întoarcem mai departe în trecut, trebuie să luăm în considerare o regiune tot mai mare a spațiului, conținând

evenimente care i-au putut influența pe toți strămoşii lui Danny sau Janet. Dacă ne întoarcem în urmă cu un milion de ani la întâlnirea întâmplătoare a doi dintre strămoşii lor *Homo erectus* din grupuri nomade diferite, trebuie să examinăm o regiune cu diametrul de două milioane de ani lumină pentru a ne asigura că nu există nici o supernovă destul de aproape pentru a dăuna Pământului. Dacă ne întoarcem până la originea vieții pe Pământ, trebuie să examinăm o bună parte din universul observabil.

Prin urmare, dacă căutăm cauze nu doar necesare, dar şi suficiente, nu putem evita concluzia că setul complet de cauze suficiente pentru ca Danny s-o întâlnească pe Janet include condiții la distanțe cosmologice în spațiu şi timp față de acel fericit eveniment. Urmărind tot mai departe în trecut lanțul cauzal, mai devreme sau mai târziu este implicat întregul univers. Şi înainte să ajungem la capătul cauzelor, ne găsim în momentul big bang-ului. Aşa încât cauzele suficiente ultime pentru întâlnirea lui Danny şi Janet se găsesc în condițiile inițiale ale universului la big bang. Aplicabilitatea finală a argumentului pentru determinism este aşadar o problemă de cosmologie. Dacă

vrem să înțelegem dacă şi cum a fost determinată întâlnirea lor, avem nevoie de o teorie a întregului univers.

Problema determinismului intră în contradicție cu faptul că metoda fizicii într-o cutie se aplică unor subsisteme mici ale universului. Înainte de a putea răspunde la întrebarea dacă evenimente aparent întâmplătoare din viețile noastre sunt complet determinate de condiții din trecut, trebuie să ştim dacă teoriile noastre pot fi extinse la teorii asupra întregului univers.

Trăim într-o lume în care o bătaie din aripi a unui fluture poate influența vremea peste oceane câteva luni mai târziu. În termeni generali, mici schimbări ale condițiilor inițiale sunt amplificate exponențial producând schimbări mari ale rezultatelor. De aceea fizica într-o cutie implică în mod necesar aproximații. Acestea includ selecția mărimilor observabile necesare pentru a modela[5] spațiul configurațiilor şi neglijarea influenței tuturor celorlalte lucruri din lume asupra lor.

Totuşi, completarea acestor detalii este uşor de imaginat. Cunoscând legile fizicii aplicabile celor mai mici particule din care este alcătuit subsistemul, ne putem cel puțin imagina specificarea exactă a tuturor

variabilelor necesare pentru a descrie subsistemul şi a tuturor forțelor prin care interacționează aceste variabile. Cea mai precisă descriere de care dispunem în prezent a legilor naturii şi a particulelor elementare este Modelul Standard al fizicii particulelor, care se încadrează cu uşurință în paradigma newtoniană. Modelul acesta conține tot ce ştim despre natură, cu excepția gravitației, şi a supraviețuit în mod repetat unor diverse teste experimentale.

Aşadar, de ce să nu includem restul universului? Ne putem imagina că tratăm un subsistem mai mare care conține sistemul nostru – nu doar mingea de tenis a lui Danny, ci totul şi pe toți cei aflați în parc în acea după-amiază. Să extindem din nou subsistemul pentru a include totul şi pe toți cei din oraşul Toronto; să-l extindem încă odată pentru a include totul de pe suprafața şi din interiorul Pământului pe o rază de un milion de mile în jur. De fiecare dată când extindem subsistemul, putem folosi aceleaşi legi ale fizicii – deci putem utiliza paradigma newtoniană. Aproximația devine din ce în ce mai bună şi forța argumentului în favoarea determinismului creşte.

Dar întotdeauna ceva este omis. S-ar putea ca la marginea sistemului solar să existe un

mare nor negru care va înghiți Soarele peste un an, sau o cometă care va atinge în trecere Pământul peste zece ani. Aceste evenimente ar putea să împiedice viitoarea căsătorie a lui Danny şi Janet. Nu e nevoie ca perturbația să fie mare sau să implice Pământul în mod direct. Atenția lui Danny ar putea fi atrasă de o ştire despre o cometă care se apropie de Jupiter, iar el să meargă în parc un minut mai târziu şi să n-o întâlnească niciodată pe Janet. Milioane de oameni care ar fi fost descendenții lor nu vor trăi niciodată. În lumea noastră, amplificarea unor mici evenimente până la consecințe majore e situația normală.

O teorie fizică deterministă poate fi comparată cu un calculator. Spațiul configurațiilor e memoria în care se introduc datele. Legea este analoagă cu programul. Rulăm programul, iar el acționează asupra datelor de intrare, care sunt înlocuite cu datele de ieşire. Datele de intrare şi programul fiind precizate, rezultatul este complet determinat. La fiecare rulare a programului cu aceleaşi date de intrare, se obține acelaşi rezultat. Dar mai este ceva care trebuie să dea de gândit: rezultatul este determinat pe baza datelor de intrare şi a programului în două moduri diferite.

Dacă considerăm calculatorul ca un dispozitiv fizic, atunci el funcționează conform legilor fizicii. Din acest punct de vedere, rezultatul e determinat cauzal de datele de intrare. Este consecința legilor fizicii care acționează asupra condițiilor inițiale. Procesul acesta necesită timp, fiindcă procesul cauzal, aşa cum este dirijat de legile fizicii, decurge în timp.

Dar rezultatul este determinat şi într-un alt mod. Datele de intrare şi programul implică *în mod logic* rezultatul. Datele de intrare şi cele de ieşire sunt exemple de obiecte matematice. Programul este tot un obiect matematic. Se poate demonstra logic că rezultatul este o consecință matematică a combinației dintre program şi datele de intrare. Această determinare logică nu necesită timp, fiindcă nu este implicat nici un proces fizic. Demonstrația că rezultatul este implicat de datele de intrare şi program e un fapt matematic, care există în lumea eternă a faptelor adevărate privind obiectele matematice.

În sensul acesta este eliminat timpul din descrierea fizicii în cadrul paradigmei newtoniene. Nu e nevoie să folosim efectiv calculatorul pentru a cunoaşte rezultatul, fiindcă acesta poate fi dedus printr-o

succesiune de argumente logice. Cum este efectuată deducția e irelevant; calculatorul este doar un instrument care utilizează legile fizicii pentru a modela o implicație logică printr-un proces cauzal. Dar există o infinitate de moduri posibile în care calculatorul poate fi construit şi programat, şi care ar conduce la exact acelaşi rezultat.

Esențial este că rezultatul nu conține nici o informație care să nu fie deja implicată logic în datele de intrare. Rezultatul este doar o rearanjare a datelor de intrare conform cu o anumită regulă logică. Acesta este sensul în care nimic nou sau surprinzător nu poate fi produs vreodată. Nici nu este necesar ca evoluția cauzală să se manifeste în timp doar pentru a reproduce efectul unei implicații logice, deci atemporale.

Acelaşi lucru este valabil pentru orice sistem descris în cadrul paradigmei newtoniene. În toate cazurile de felul acesta, configurația finală nu este altceva decât rezultatul legilor fizicii care acționează asupra condițiilor inițiale. Spațiul configurațiilor în care există configurația inițială şi cea finală este un obiect matematic, la fel şi acele configurații. Odată ce legile sunt exprimate ca ecuații matematice, evoluția condițiilor inițiale în configurația

finală după un anumit interval de timp e un fapt matematic. El poate fi dedus pe cale matematică; de fapt, poate fi demonstrat ca o teoremă matematică. Ce face paradigma newtoniană este să înlocuiască procesele cauzale – care se desfăşoară în timp – cu implicația cauzală, care este atemporală. Încă un mod prin care paradigma newtoniană elimină timpul.

*

Un mod de a înțelege că surpriza şi noutatea nu pot juca nici un rol e să avem în vedere că deseori o lege a fizicii poate funcționa în sens invers. Dacă ne gândim la o lege a fizicii ca la un calculator sau un dispozitiv care transformă condițiile inițiale într-o configurație finală, ne putem imagina că legea are un comutator care poate fi răsucit pentru a inversa direcția timpului. Ce avem de făcut e să răsucim comutatorul şi să introducem configurația finală ca date inițiale. Legea va acționa pe aceeaşi durată de timp ca mai înainte, numai că de data asta în sens invers, transformând configurația finală înapoi în cea inițială. Spunem că o lege care poate funcționa invers, pentru a readuce orice configurație finală în condițiile sale inițiale, este reversibilă în timp.

Să luăm un exemplu simplu: mişcarea de rotație a Pământului în jurul axei sale şi de revoluție în jurul Soarelui. Inversând direcția timpului, se inversează sensul mişcării de rotație ca şi al celei de revoluție, dar legile lui Newton permit şi o asemenea orbită. Dacă am arăta unor extratereştri un film cu mişcarea Pământului, ei ar spune (presupunând că au noțiunea de legi ale fizicii) că mişcarea e guvernată de legile lui Newton. Dar acelaşi lucru ar fi adevărat dacă le-am arăta filmul derulat invers; ei ar conchide că aceasta e o orbită permisă de legile lui Newton. Într-adevăr, dacă le-am da ambele filme şi i-am întreba care este originalul şi care inversul, ei n-ar putea spune. Acelaşi lucru ar fi adevărat pentru filmul mişcărilor întregului sistem solar, cu cele opt planete şi puzderia de alte corpuri.

Desigur, mulți dintre noi am văzut filme derulate invers, iar majoritatea arată ciudat sau comic. Deseori aceasta nu este din cauză că mişcarea inversată ar fi interzisă de legile fizicii; ea este posibilă, dar extraordinar de improbabilă. Lucrul acesta e în general adevărat pentru sistemele complexe care implică un număr mare de obiecte precum atomii. Aici avem de-a face cu legile termodinamicii, care nu sunt reversibile în

timp şi pe care le voi discuta în capitolele 16 şi 17.[1] Deocamdată să considerăm doar două exemple simple.

Multe legi ale fizicii sunt reversibile în timp. Printre acestea se numără cele din mecanica newtoniană, din relativitatea generală şi din mecanica cuantică. Modelul Standard al fizicii particulelor este în mare parte, dar nu în întregime, reversibil în timp. (Există un aspect practic insignifiant al interacției nucleare slabe care nu e reversibil.) Dacă luăm o istorie care a evoluat în conformitate cu Modelul Standard, inversăm direcția timpului şi concomitent efectuăm încă două schimbări, obținem o altă istorie pe care modelul o permite. Cele două schimbări sunt înlocuirea particulelor cu antiparticulele lor şi inversarea stângii cu dreapta. Operațiunea se numeşte CPT (de la sarcină [charge], paritate şi inversia în raport cu timpul), şi ne-o putem imagina ca pe un alt mod de a derula un film invers. Orice teorie compatibilă cu mecanica cuantică şi relativitatea restrânsă permite ca direcția timpului să fie inversată în felul acesta.

Aceste inversiuni sunt încă un argument pentru irealitatea timpului. Dacă direcția legilor naturii poate fi inversată, atunci nu poate exista, în principiu, nici o deosebire

între trecut şi viitor, iar faptul că noi avem raporturi foarte diferite cu trecutul şi viitorul nu poate fi o proprietate fundamentală a lumii. Deosebirile evidente dintre viitor şi trecut trebuie să fie sau iluzii, sau consecințele unor condiții inițiale speciale.

Ludwig Boltzmann, care cu descoperirile sale privind natura entropiei a făcut mai mult decât oricine altcineva pentru a lega lumea atomilor de lumea macroscopică a experienței cotidiene, a spus odată: „Pentru univers, cele două direcții ale timpului sunt indiscernabile, la fel cum în spațiu nu există sus şi jos.“[2] Iar dacă nu există nici o distincție reală între trecut şi viitor – dacă ele au exact acelaşi conținut, doar rearanjat în mod logic –, atunci nu e nevoie să credem în realitatea momentului prezent sau în realitatea trecerii timpului. Reversibilitatea în timp a legilor fizicii e adesea considerată încă un pas în eliminarea timpului din perspectiva fizicienilor asupra naturii.

Mai avem doar câțiva paşi de făcut până la dispariția completă a timpului din fizică. Pasul următor provine din relativitatea einsteiniană, care ne va oferi cel mai puternic dintre toate argumentele în favoarea irealității timpului.

5. A modela, în acest context (şi pretutindeni în carte), înseamnă a crea un model matematic (n. red.).

6. Relativitate şi atemporalitate

Când aveam nouă ani, tatăl meu a adus acasă, în apartamentul nostru din Manhattan, un exemplar din cartea lui Lincoln Barnett *The Universe and Dr. Einstein*, şi împreună ne-am bătut capul cu explicațiile sale despre teoria relativității. Chiar şi acum îmi amintesc diagramele cu trenuri în mişcare accelerată şi lumină stelară curbată. Acesta a fost primul meu contact cu fizica.

Pe urmă, pe la şaisprezece ani, am citit primul articol al lui Einstein despre relativitatea generală în timp ce mergeam cu metroul în centru ca să-l vizitez pe vărul meu membru al formației de rock. Articolele originale ale lui Einstein erau disponibile atunci, cum sunt şi acum, într-o ediție broşată ieftină.[1] Atras spre fizică de scrierile sale, cu care din fericire am venit în contact înainte să fi avut ocazia să deschid un manual, nu aveam habar că întâlnisem cel mai bun exemplu de cum să exprimi în idei clare esența naturii. Ca şi cum ai fi înțărcat într-un restaurant franțuzesc de cinci stele, încât

după aceea nu mai vrei nici în ruptul capului să mănânci cereale şi sendvişuri cu unt de arahide şi dulceață.

Mai târziu am descoperit că foarte puține lucruri în fizică egalează claritatea conceptuală şi eleganța teoriilor lui Einstein. Nici mecanica cuantică, nici teoria cuantică a câmpurilor contemporană, nici chiar mecanica newtoniană, ale cărei expuneri din manuale sunt adesea harababuri logice, subminate de definiții confuze şi circulare ale unor concepte de bază precum masa şi forța. Dar fiindcă am început cu Einstein, lucrările sale au devenit standardul meu ştiințific, iar teoriile sale despre relativitate au devenit criteriile mele de evaluare, principiile lor fiind atât de sacre, pe cât poate fi un text pentru cineva şcolit în scepticismul ştiinței.

Întâmplarea face că teoriile relativității ale lui Einstein sunt cele mai puternice argumente de care dispunem că timpul este o iluzie care maschează un univers etern, mai real. Pe vremea când credeam că timpul e o iluzie, principalul meu motiv se lega de teoria relativității.

Einstein a inventat două teorii ale relativității. Prima, relativitatea restrânsă, este o teorie despre o lume în care gravitația nu există. Ea a fost prezentată în două din

articolele publicate de Einstein în al său „an miraculos“ 1905.[2] Relativitatea generală, inventată în deceniul următor, include gravitația.

Cele două teorii ale relativității ale lui Einstein sunt, în esența lor, teorii despre timp – sau, mai bine zis, despre atemporalitate. Ele au o nemeritată reputație de a fi dificile; eu le găsesc minunat de simple şi uşor de explicat. Este adevărat că relativitatea pare la început contraintuitivă, fiindcă înlocuieşte o intuiție greşită cu una mai profundă, despre care experimentele ne spun că e mai aproape de adevăr. A învăța relativitatea înseamnă a trece de la un mod de organizare mentală a lumii la altul. Trebuie abandonate anumite supoziții inconştiente asupra timpului, dar după aceea ideile principale decurg logic.

Voi vorbi în acest capitol numai despre ideile şi rezultatele teoriei relativității care se referă la natura timpului. Voi face afirmații care sper să fie clare, dar nu voi proceda ca în majoritatea cărților de popularizare a fizicii, anume să expun argumentele care leagă postulatele simple ale lui Einstein de consecințele lor contraintuitive.[3]

Ne vom ocupa de două concepte din relativitatea restrânsă. Primul este *relativitatea simultaneității*. Al doilea, care

decurge din acesta, este *universul-bloc*. Fiecare a fost un pas important în eliminarea timpului din fizică.

În elaborarea relativității restrânse, Einstein a recurs la două strategii în problema naturii timpului. În primul rând, în dezbaterea dacă timpul e relațional sau absolut, el a adoptat perspectiva relațională: timpul se referă la schimbare, ceea ce înseamnă că se referă la relațiile percepute. Nu există un timp absolut sau universal.

În primele sale articole, Einstein a folosit de asemenea o strategie numită *operaționalism*. Conform acestei abordări, singura metodă semnificativă pentru a defini o mărime precum timpul este de a preciza cum poate fi ea măsurată. Dacă vrem să vorbim despre timp, trebuie să descriem ce este un ceas în teoria noastră şi cum funcționează el. Într-o abordare operațională a ştiinței, nu ne întrebăm ce este real, ci ce poate să observe un observator. Trebuie ținut seama de situația observatorului în univers, inclusiv unde se află şi cum se mişcă. Asta ne permite să ne întrebăm dacă diferiți observatori vor fi de acord sau nu în legătură cu ceea ce văd. Unele dintre cele mai interesante descoperiri ale lui Einstein se referă la dezacordurile dintre observatori.

Dar cum rămâne cu realitatea? Pe fizicieni nu-i interesează ce este real, şi nu doar ce se observă? Ba da, dar deşi majoritatea operaționaliştilor cred în realitate, ei cred de asemenea că singura cale de a ajunge la ea este prin ceea ce se observă. Testul dacă ceva e real – adevărat în mod obiectiv – este că toți observatorii vor fi de acord în privința lui.

Marea descoperire legată de timp în teoria relativității restrânse a lui Einstein se numeşte relativitatea simultaneității. Problema care se pune este dacă se poate considera că două evenimente care se petrec în puncte diferite din spațiu au loc în acelaşi timp. Einstein a constatat că există o ambiguitate în definirea simultaneității unor evenimente aflate la distanță unul de altul.

E perfect normal ca o femeie care se trezeşte dimineața la Toronto să se întrebe ce face iubitul ei în acelaşi moment la Singapore. Dacă asta are sens, atunci trebuie să aibă sens şi întrebarea ce se întâmplă în acel moment pe Pluto, pe o planetă din galaxia Andromeda sau în întregul univers. Einstein a demonstrat că intuiția noastră naturală că are sens să vorbim despre ce se întâmplă chiar acum departe de noi e greşită. Doi observatori care se mişcă unul în raport

cu altul nu vor răspunde la fel la întrebarea dacă două evenimente distanțate sunt simultane.

Relativitatea simultaneității depinde de câteva presupuneri, una dintre ele fiind că viteza luminii e universală – ceea ce înseamnă că oricare doi observatori care măsoară viteza unui foton vor fi de acord în privința măsurătorilor lor, indiferent cum se mişcă unul față de altul sau în raport cu fotonul. Putem de asemenea presupune că nimic nu se poate deplasa mai repede decât această viteză universală.[4] Acestea fiind date, un eveniment poate influența un altul numai dacă un semnal care se deplasează cu o viteză egală cu (sau mai mică decât) viteza luminii porneşte de la primul şi ajunge la al doilea. Dacă acest lucru e posibil, spunem că cele două evenimente sunt *corelate cauzal*, în sensul că primul poate fi cauza celui de-al doilea.

Dar două evenimente pot fi atât de îndepărtate în spațiu şi să aibă loc atât de aproape în timp, încât nici un semnal nu poate ajunge de la unul la celălalt. În asemenea cazuri, nici unul din cele două evenimente nu poate fi cauza celuilalt. Spunem că două astfel de evenimente nu sunt corelate cauzal. Einstein a demonstrat că

în aceste cazuri nu se poate spune dacă ele sunt simultane sau dacă unul s-a petrecut înainte sau după celălalt. Ambele răspunsuri sunt posibile, depinzând de mişcarea observatorilor care poartă ceasurile cu care e măsurat timpul. Pentru ca fizica să aibă sens, observatorii trebuie să fie de acord asupra ordinii evenimentelor corelate cauzal pentru a evita confuzia în atribuirea cauzelor. Dar nu există nici un motiv ca observatorii să fie de acord asupra ordinii unor evenimente care nu se pot influența unul pe altul. În teoria relativității restrânse a lui Einstein, ei nu sunt de acord.

Prin urmare, nu are sens ca prietena noastră din Toronto să se întrebe ce face iubitul ei în Singapore *chiar acum*.[5] Dar categoric are sens să se gândească la ce făcea el în urmă cu câteva secunde. Acele secunde sunt un timp mai mult decât suficient pentru ca el să-i fi trimis textul pe care ea îl citeşte acum; trimiterea de către el a textului şi citirea textului de către ea sunt evenimente corelate cauzal. Iar toți observatorii vor fi de acord că textul pe care ea îl trimite acum îi va schimba lui restul vieții, începând din momentul când el citeşte vestea un minut mai târziu.

Pe lângă existența unei viteze-limită universale asupra căreia toți observatorii sunt de acord, relativitatea restrânsă depinde de încă o ipoteză. Aceasta este chiar *principiul relativității*. El afirmă că viteza, cu excepția vitezei luminii, este o mărime pur relativă – este imposibil de spus care observator se mişcă şi care este în repaus. Să presupunem că doi observatori se apropie unul de altul, fiecare mişcându-se cu viteză constantă. Conform principiului relativității, fiecare este îndreptățit să declare că el se află în repaus, şi să pună apropierea în întregime pe seama mişcării celuilalt.

Nu există aşadar un răspuns corect la întrebările în privința cărora observatorii nu cad de acord, de pildă dacă două evenimente aflate la distanță unul de altul se petrec simultan. Prin urmare, nu poate exista nimic real în mod obiectiv cu privire la simultaneitate, nimic real cu privire la „acum“. Relativitatea simultaneității a fost o mare lovitură pentru ideea că timpul este real.

Observatorii sunt de acord cu privire la ceea ce poate fi numit *structura cauzală*. Luați oricare două evenimente din istoria universului şi numiți-le X şi Y. Atunci unul din trei lucruri va fi adevărat. Sau X putea fi

cauza lui Y, sau Y putea fi cauza lui X, sau nici unul nu putea fi cauza celuilalt. Asupra acestor relații cauzale toți observatorii sunt de acord. Structura cauzală e lista tuturor acestor relații, pentru toate evenimentele din univers. Se poate aşadar spune că ceea ce are realitate fizică în istoria universului include structura sa cauzală.

Aceasta e o imagine atemporală, fiindcă se referă concomitent la întreaga istorie a universului. Nu există un moment de timp privilegiat, nici o referire la „cât e ceasul“ acum, nici un fel de referire la ceva care să corespundă experienței momentului prezent. Noțiunile de „viitor“, „trecut“ sau „prezent“ nu au nici o semnificație.

Dacă se elimină din descrierea naturii oferită de relativitatea restrânsă tot ce corespunde observațiilor unor observatori particulari, rămâne structura cauzală. Fiindcă doar aceasta e independentă de observator, ea trebuie – dacă teoria este adevărată – să corespundă realității fizice. Prin urmare, în măsura în care relativitatea restrânsă se bazează pe principii adevărate, universul este atemporal. Este atemporal în două sensuri: nu există nimic care să corespundă experienței momentului prezent, iar

descrierea cea mai profundă este cea a întregii istorii a relațiilor cauzale concomitent.

Imaginea aceasta a istoriei universului oferită de relațiile cauzale împlineşte visul lui Leibniz al unui univers în care timpul este complet definit de relațiile dintre evenimente. Relațiile sunt singura realitate care corespunde timpului – relații de tip cauzal.

De fapt, pe lângă structura cauzală, mai există şi o altă informație asupra căreia observatorii sunt de acord. Să considerăm un ceas fizic, care numără secundele, plutind liber în spațiu. El bate amiaza, iar peste un minut bate ora douăsprezece şi un minut. Primul eveniment poate fi considerat o cauză a celui de-al doilea. Între timp, ceasul a ticăit de şaizeci de ori. De câte ori a ticăit ceasul între cele două evenimente este un alt lucru asupra căruia toți observatorii, indiferent de mişcarea lor relativă, pot cădea de acord. Acesta se numeşte *timpul propriu*.[6]

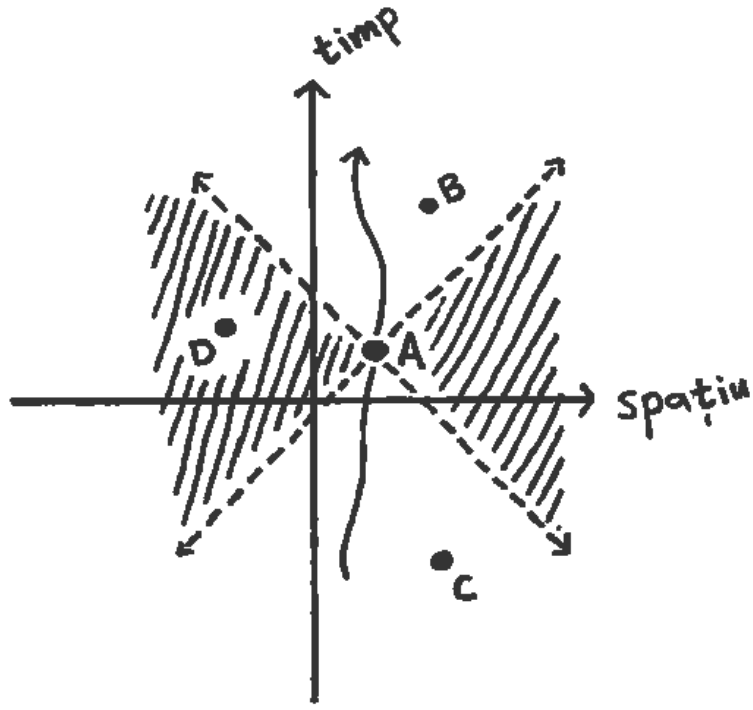
Imaginea istoriei universului, luat în ansamblu, ca un sistem de evenimente conectate prin relații cauzale, se numeşte *universul-bloc*.[6] Motivul pentru denumirea aceasta oarecum ciudată este că ea sugerează că reală este numai întreaga istorie

concomitent – se face trimiterea la un bloc de piatră din care se poate sculpta ceva solid şi imuabil.

Universul-bloc este punctul culminant al mişcării începute de Galilei şi Descartes care tratează timpul ca şi cum ar fi o altă dimensiune a spațiului. El oferă o descriere a întregii istorii a universului ca un obiect matematic care, aşa cum am observat în capitolul 1, este atemporal. A crede că el corespunde realității obiective din natură înseamnă a afirma că universul e esențialmente atemporal. Imaginea universului-bloc este al doilea pas în eliminarea timpului implicată de teoria relativității restrânse a lui Einstein.

Universul-bloc uneşte spațiul şi timpul. El poate fi reprezentat ca un fel de spațiu-timp, cu trei dimensiuni pentru spațiu şi a patra pentru timp (vezi figura 10). Un eveniment care are loc la un anumit moment în timp este reprezentat ca un punct în spațiu-timp, iar istoria unei particule e descrisă de o curbă în spațiu-timp numită linia sa de univers. Prin urmare, timpul a fost complet subordonat geometriei; spunem că timpul a fost spațializat sau geometrizat. Legile fizicii sunt reprezentate geometric; de exemplu, liniile de univers ale particulelor libere sunt

drepte în spațiu-timp. Dacă particula e un foton, îi reprezentăm mişcarea sub forma unei drepte înclinate la 45 de grade (ceea ce corespunde cu a măsura spațiul în unități de timp, ca atunci când vorbim despre ani-lumină). Orice particulă obişnuită trebuie să se deplaseze mai încet decât un foton, purtătorul luminii, prin urmare linia sa de univers va fi înclinată sub un unghi mai mare.



• B este în viitorul lui A.
• C este în trecutul lui A.
• D este deconectat cauzal de A.

Fig. 10. Imaginea spațiului- timp ca univers-bloc. Un spațiu-timp cu o dimensiune spațială şi una temporală. Alegem unitățile de timp şi spațiu astfel încât razele de lumină se deplasează sub unghiuri de 45 de grade. Structura cauzală este atunci indicată în mod geometric; două

evenimente pot fi corelate cauzal dacă ele pot fi legate printr- o dreaptă cu o înclinație de 45 de grade sau mai mare. Vedem de asemenea linia de univers a unei particule îndreptându- se dinspre trecut către viitor prin evenimentul A. Sunt desenate şi două raze de lumină care trec prin A. Regiunile haşurate conțin evenimente care nu sunt corelate cauzal cu A.

Această reprezentare geometrică elegantă a relativității speciale a fost inventată în 1909 de Hermann Minkowski, care fusese unul dintre profesorii de matematică ai lui Einstein. În cadrul ei, orice fapt fizic referitor la mişcare implicat de relativitatea restrânsă este reprezentat ca o teoremă despre geometria spațiului-timp. Inventarea de către Minkowski a ceea ce acum numim spațiul-timp Minkowski a fost un pas decisiv în eliminarea timpului, întrucât a stabilit în mod convingător că toate afirmațiile despre mişcarea în timp pot fi transpuse în teoreme matematice despre o geometrie atemporală. Hermann Weyl, unul dintre marii matematicieni ai secolului XX, spunea: „Lumea obiectivă pur şi simplu este, ea nu se petrece. Numai pentru privirea conştiinței mele, care se târăşte de-a lungul liniei de

univers a corpului meu, o secțiune a lumii capătă viață ca o imagine efemeră în spațiu care se modifică permanent în timp.“[7]

Pentru a ilustra puterea imaginii universului-bloc, iată un mic argument adus de unii filozofi în sprijinul său. Argumentul depinde numai de relativitatea simultaneității. Să începem prin a conveni că prezentul este real. Nu putem fi atât de siguri că viitorul sau trecutul sunt reale – de fapt, scopul acestui argument e să aflăm cât sunt de reale –, dar nu avem nici o îndoială că prezentul este real. Prezentul constă din multe evenimente, nici unul dintre ele mai real decât altul. Nu ştim dacă două evenimente din viitor sunt reale, dar vom conveni că dacă două evenimente au loc în acelaşi timp ele sunt la fel de reale, indiferent dacă acel timp este prezent, trecut sau viitor.

Dacă suntem operaționaliști, trebuie să vorbim despre ce văd observatorii. Prin urmare, afirmăm că *două evenimente sunt la fel de reale dacă există un observator care le vede ca simultane*. Vom presupune, de asemenea, că proprietatea de a fi „la fel de real“ este tranzitivă; altfel spus, dacă A şi B sunt la fel de reale, iar B şi C sunt la fel de reale, acelaşi lucru este valabil pentru A şi C. Argumentul exploatează faptul că în

relativitatea restrânsă prezentul depinde de observator. Să alegem oricare două evenimente din istoria universului, dintre care unul e cauza celuilalt. Să le numim A şi B. Întotdeauna va exista un alt eveniment X, care are următoarea proprietate: există un observator, Maria, pentru care A e simultan cu X; şi există un alt observator, Freddy, pentru care X e simultan cu B, după cum e ilustrat în figura 11.

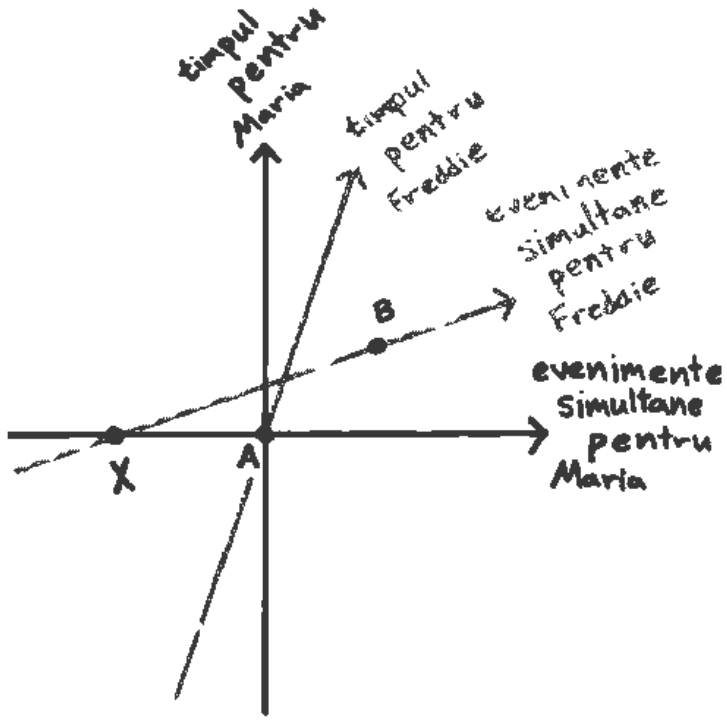


Fig. 11. Argumentul în favoarea universului-bloc care decurge din simultaneitate. Pentru oricare două evenimente corelate cauzal, A şi B, întotdeauna există un eveniment X în aşa fel încât există un observator pentru care X şi A sunt simultane, şi un observator pentru care X şi B sunt simultane.

Pentru a înțelege de ce trebuie să existe X, ai nevoie să ştii nu doar că simultaneitatea e

relativă, dar şi că este cât se poate de relativă, în următorul sens: o consecință a postulatelor lui Einstein este că dacă două evenimente au loc simultan pentru un anumit observator, pentru toți ceilalți observatori ele nu vor fi corelate cauzal. Este de asemenea adevărat că, dacă două evenimente nu sunt corelate cauzal, va exista un observator pentru care ele sunt simultane, astfel încât simultaneitatea este cât se poate de relativă, respectând totodată cauzalitatea.

Dacă B este departe în viitorul lui A, atunci X trebuie să fie suficient de departe de ambele, încât nici un semnal luminos să nu se poată deplasa de la A la X sau de la X la B. Dar universul descris de Minkowski este infinit, prin urmare aceasta nu e o problemă.[8]

Acum putem raționa în felul următor: în virtutea criteriului pe care l-am dat, A este la fel de real ca X. Dar B de asemenea este la fel de real ca X. Deci A şi B sunt la fel de reale. Dar A şi B sunt oricare două evenimente corelate cauzal din istoria universului. Prin urmare, dacă există un sens în care un eveniment din univers este real, acea realitate este împărtăşită de toate celelalte evenimente. Nu există nici o diferență între prezent, trecut şi viitor. Realul înseamnă toate evenimentele din univers,

luate împreună. Conchidem aşadar că realitatea lumii constă în ansamblul istoriei sale. Momentele de timp, sau trecerea lor, nu au nici o realitate.

Puterea acestui argument al universului-bloc stă în faptul că pentru a-l accepta trebuie să crezi doar că prezentul este real; argumentul te forțează apoi să crezi că viitorul şi trecutul sunt la fel de reale ca prezentul. Dar dacă *nu este* nici o distincție între prezent, trecut şi viitor – dacă formarea Pământului sau naşterea stră-stră-stră-strănepoatei mele sunt la fel de reale ca momentul în care scriu aceste cuvinte –, atunci prezentul nu are nici o prerogativă specială în privința realității, reală fiind doar întreaga istorie a universului.

Hilary Putnam, un eminent filozof contemporan, a reflectat asupra acestui argument:

> Eu conchid că problema realității şi a caracterului determinat al evenimentelor viitoare este acum rezolvată. Mai mult, ea e rezolvată de fizică, şi nu de filozofie. […] De fapt, nu cred că mai există probleme filozofice legate de Timp; există

doar problema fizică de a determina geometria fizică exactă a continuumului cvadridimensional în care trăim.[9]

Un alt nume pentru perspectiva universului-bloc este eternalism. Filozofii contemporani au creat o literatură considerabilă despre toate aspectele sale. Una dintre întrebările discutate este dacă perspectiva universului-bloc e compatibilă cu modul în care vorbim despre timp. Atât oamenii obişnuiți, cât şi filozofii folosesc cuvinte ca „acum“, „viitor“ şi „trecut“. Cuvintele acestea au vreo semnificație, dacă realitatea constă din întreaga istorie a lumii luată în ansamblu? Ce înțelegem atunci când spunem „Acum sunt într-un tren sub Canalul Mânecii“, dacă acum nu este mai real decât oricare alt moment?

O perspectivă numită compatibilism susține că limbajul obişnuit nu pune nici o problemă atâta vreme cât cuvinte precum „mâine“ sau „acum“ sunt înțelese ca denotând un punct de vedere care ne oferă acces nemijlocit la unele fapte legate de realitatea atemporală, făcând totodată ca altele să fie greu accesibile. Vorbim cu uşurință despre „aici“ şi „acolo“, încredințați că obiectele apropiate şi cele îndepărtate sunt la fel de reale. De aceea unii filozofi susțin

că „acum“ şi „viitor“ nu sunt în realitate foarte diferite de „aici“ şi „acolo“; toate denotă o anumită perspectivă care influențează ce vedem în jurul nostru, dar nu afectează ce este real. Când folosesc cuvântul „acum“, nu subînțeleg neapărat că acest acum este special; doar descriu perspectiva mea. Întotdeauna există o trimitere implicită la care mă refer acum şi pe care presupun că interlocutorul meu o împărtăşeşte.

Toate bune şi frumoase, cu condiția însă ca universul-bloc să fie o descriere corectă a naturii. Alți filozofi se îndoiesc că aşa stau lucrurile. John Randolph Lucas scrie: „Universul-bloc oferă o viziune profund inadecvată asupra timpului. El nu reuşeşte să explice trecerea timpului, preeminența prezentului, direcționalitatea timpului şi diferența dintre viitor şi trecut.“[10]

Aceasta e dezbaterea la care se referă argumentele din cartea de față. Nu le abordez în termenii favorizați de filozofi, care sunt deseori asociați cu analize lingvistice. Mă interesează în schimb presupozițiile lor din fizică – printre care aceea că relativitatea restrânsă poate fi aplicată la întreaga istorie a universului. Dar relativitatea restrânsă nu poate fi aplicată întregului univers, fiindcă ea nu conține toată fizica; în particular, ea nu

include gravitația. Ea poate fi, în cel mai bun caz, doar o aproximație a unei teorii care include gravitația. Problema extinderii teoriei relativității asupra gravitației a fost rezolvată prin crearea unei teorii încă şi mai profunde, care este relativitatea generală. Aceasta i-a luat lui Einstein zece ani de muncă grea.

Totuşi, acele trăsături ale relativității restrânse care prezintă interes filozofic se extind asupra teoriei relativității generale a lui Einstein. Relativitatea simultaneității rămâne adevărată – şi, de fapt, este extinsă. Aşa încât argumentul filozofic pe care tocmai l-am schițat îşi păstrează valabilitatea şi duce la aceeaşi concluzie: singura realitate este întreaga istorie a universului în ansamblul lui.

Rămâne de asemenea adevărat în relativitatea generală că toate informațiile independente de observator sunt incluse în structura cauzală şi timpul propriu. Dacă istoria întregului univers este reprezentată în relativitatea generală, rezultatul rămâne imaginea universului-bloc.

*

Relativitatea generală nu numai că păstrează acele trăsături ale relativității restrânse conform cărora timpul este ireal, dar

introduce altele noi în acelaşi sens. În primul rând, există mult mai multe moduri de a diviza spațiul-timp în spațiu şi timp (vezi figura 12). Putem defini timpul în funcție de o rețea de ceasuri răspândite în tot universul, dar ceasurile se pot comporta ciudat – adică ele pot merge cu viteze diferite în locuri diferite, şi fiecare poate accelera sau încetini. Descriem asta spunând că în relativitatea generală timpul poate fi multiform [*many-fingered*]. În al doilea rând, geometria spațiului şi a spațiului-timp nu mai e simplă sau regulată. Ea devine generală: gândiți-vă la o suprafață curbă *oarecare*, nu doar un plan sau o sferă. Iar geometria devine dinamică. Unde, pe care le numim unde gravitaționale, se deplasează prin geometria spațiului-timp. Găuri negre se pot forma, mişca, roti una în jurul alteia. O configurație a lumii nu mai este dată de particule poziționate în spațiu; configurația implică acum geometria spațiului însuşi.

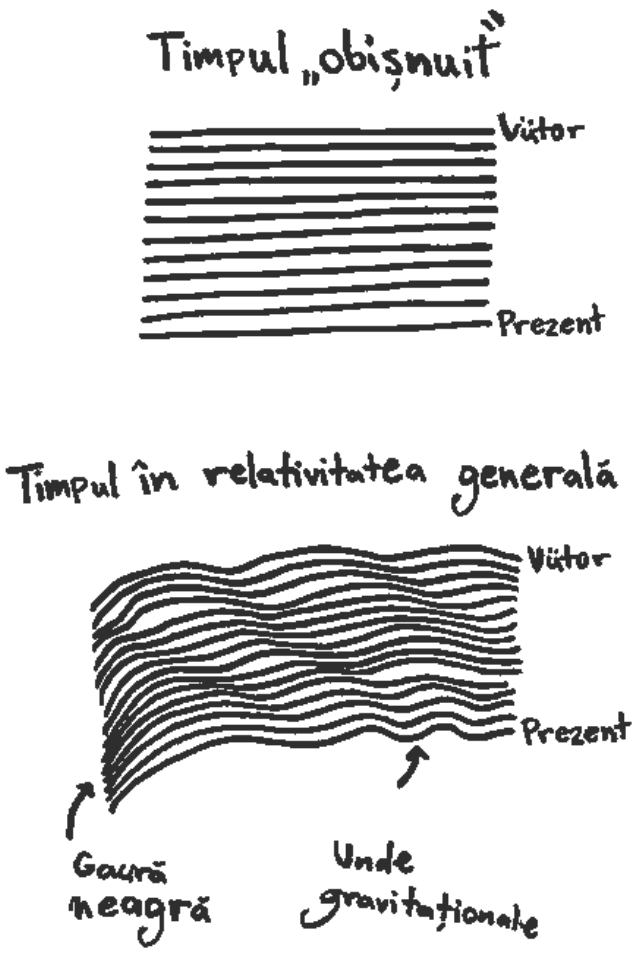


Fig. 12. Comparăm noțiunea obişnuită de timp cu noțiunea mai arbitrară din relativitatea generală. În mod normal considerăm că timpul se scurge la fel de repede pretutindeni, astfel încât suprafețele echitemporale sunt egal distanțate, cum se vede în imaginea de sus. În relativitatea generală, timpul poate fi măsurat în fiecare punct de un ceas diferit, fiecare mergând arbitrar de repede în comparație cu celelalte, atâta vreme cât suprafețele echitemporale nu sunt corelate cauzal între ele. Spunem că timpul are libertatea de a fi „multiform" [many- fingered], aşa cum se vede în imaginea de sus.

Dar ce legătură are geometria spațiului şi a spațiului-timp cu gravitația? Relativitatea generală se bazează pe cea mai simplă dintre toate ideile ştiințifice, şi anume: căderea e o stare naturală.

Marile revoluții în fizică pot fi caracterizate prin schimbări în ceea ce se consideră a fi mişcarea naturală, unde prin „natural“ înțelegem o mişcare ce nu are nevoie de explicație. Pentru Aristotel, mişcarea naturală însemna a fi în repaus în raport cu centrul Pământului. Orice altă mişcare era nenaturală şi necesita o explicație, de pildă o forță care acționează asupra corpului pentru a-l pune în mişcare şi a-l menține în mişcare. Pentru Galilei şi Newton, mişcarea naturală era în linie dreaptă şi cu viteză constantă, iar o forță era invocată ca explicație numai dacă viteza sau direcția mişcării se schimbau – ceea ce noi numim accelerație. De aceea nu simțim mişcarea într-un avion sau într-un tren atât timp cât ele se mişcă fără accelerație.

Ați putea întreba: dacă toate mişcările sunt relative, nu contează în raport cu cine accelerează avionul sau trenul? Contează, şi răspunsul este: în raport cu alți observatori care se mişcă fără accelerație. Nu este un cerc vicios? Nu, dacă adăugăm că există o categorie largă de observatori care nu simt nici un efect al mişcării lor, toți având în comun faptul că se deplasează cu viteze şi pe direcții constante unele în raport cu altele. Aceşti observatori speciali sunt numiți

observatori inerțiali, iar legile lui Newton sunt definite în raport cu ei. Prima lege a lui Newton afirmă atunci că particulele libere (în sensul că asupra lor nu acționează nici o forță) se mişcă, în raport cu observatorii inerțiali, cu viteză şi pe o direcție constante.

De aceea, fiindcă veni vorba, contează dacă Soarele sau Pământul se mişcă. Direcția de mişcare a Pământului se modifică permanent – în raport cu oricare dintre observatorii inerțiali – în timp ce se roteşte în jurul Soarelui. Aceasta este o accelerație; ea necesită o explicație, care este oferită de influența gravitațională a Soarelui.

Pentru Newton, gravitația era o forță, asemenea altor forțe. Dar Einstein şi-a dat seama că este ceva special în privința mişcării provocate de gravitație, anume că toate corpurile cad cu aceeaşi accelerație, indiferent de masă sau orice alte proprietăți ale lor. Aceasta este o consecință a legilor lui Newton. Accelerația unui corp e invers proporțională cu masa lui, dar Newton afirmă că gravitația atrage un corp cu o forță direct proporțională cu masa lui. Efectele maselor se anulează, încât accelerațiile provocate de gravitație nu depind de masa corpului, şi toate corpurile cad cu aceeaşi accelerație.

Einstein a captat naturaleţea căderii în cel mai frumos principiu din toată opera lui – şi din toată fizica – pe care l-a numit *principiul echivalenţei*. Acesta afirmă că în cădere liberă nu simţi că te mişti. Experienţa cuiva aflat într-un ascensor în cădere este identică cu a cuiva care pluteşte liber în spaţiu. Ceea ce percepem atunci când ne referim la gravitaţie este faptul că *nu* cădem. Forţa pe care o simţim când stăm jos sau în picioare nu este gravitaţia care ne trage în jos, ci podeaua sau scaunul care ne împing în sus şi ne împiedică să cădem. Când stau la biroul meu, de fapt mă mişc într-un mod nenatural.

De aceea a fost Einstein un geniu de primă mărime. Nu datorită complexităţilor matematice din formularea finală a relativităţii generale – acestea sunt amănunte pe care majoritatea studenţilor la matematică şi fizică le stăpânesc cu uşurinţă –, ci datorită modului în care a reuşit să ne schimbe perspectiva asupra unuia dintre cele mai simple aspecte ale experienţei noastre. Înainte de Einstein, credeam că ceea ce simţim toată ziua, în fiecare zi, este gravitaţia care ne trage în jos. Einstein şi-a dat seama că greşim. Ceea ce simţim este podeaua care ne împinge în sus.

Einstein a luat ideea aceasta, cea mai simplă şi mai naturală dintre toate, şi cu ajutorul unui prieten matematician pe nume Marcel Grossmann a transformat-o într-o ipoteză despre geometria lumii. Această ipoteză se baza pe cea mai simplă noțiune din geometrie, cea de linie dreaptă.

O linie dreaptă este definită în geometria din şcoală ca drumul cel mai scurt dintre două puncte. Definiția aceasta se aplică pentru un plan, dar poate fi extinsă la suprafețe curbe. Să ne gândim la o sferă, cum ar fi suprafața Pământului. S-ar putea crede că aici nu mai există linii drepte, dat fiind că suprafața e curbă, dar lucrurile nu stau aşa dacă prin linie dreaptă înțelegem traiectoria care urmează cea mai scurtă distanță dintre două puncte. Curbele care satisfac această definiție se numesc *geodezice*. Când spațiul este plan, geodezicele sunt linii drepte; când spațiul este o sferă, geodezicele sunt segmente de cercuri mari, iar acestea sunt rutele urmate de avioane ca drumul cel mai scurt dintre oraşe.[11]

Dacă traiectoriile obiectelor care cad într-un câmp gravitațional sunt mişcările naturale, ele trebuie să generalizeze liniile drepte de-a lungul cărora, potrivit lui Newton, se mişcă obiectele asupra cărora nu

acționează nici o forță. Dar acum trebuie să alegem, fiindcă la fel cum particulele libere se mişcă de-a lungul unor linii drepte în spațiu, ele se mişcă de-a lungul unor linii drepte în spațiul-timp Minkowski. Prin urmare, vrem să reprezentăm gravitația curbând spațiul sau curbând spațiul-timp?

Din perspectiva universului-bloc, răspunsul este clar: spațiul-timp trebuie să fie curbat. Dată fiind relativitatea simultaneității, observatorii nu cad de acord în privința evenimentelor care sunt simultane. Nu există o metodă simplă, obiectivă, independentă de observator, pentru a descrie cum e curbat spațiul.

Când Einstein a ales să aplice principiul echivalenței curbând spațiul-timp, ideea lui a fost că influența gravitației va fi transmisă prin curbură, aşa încât obiectele care cad într-un câmp gravitațional se vor deplasa de-a lungul geodezicelor. Obiectele în cădere liberă vor cădea spre Pământ nu fiindcă simt o forță, ci fiindcă spațiul-timp a fost curbat aşa încât geodezicele se arcuiesc spre centrul Pământului. Planetele se rotesc în jurul Soarelui nu fiindcă Soarele exercită o forță asupra lor, ci fiindcă enorma lui masă curbează geometria spațiului-timp aşa încât geodezicele se curbează în jurul lui.

În felul acesta Einstein a explicat gravitația ca pe un aspect al geometriei spațiului-timp. Geometria acționează asupra materiei ghidând-o de-a lungul geodezicelor. Dar ce e minunat la relativitatea generală a lui Einstein e faptul că această acțiune e reciprocă. Einstein a afirmat că masa face ca geometria să se curbeze, aşa încât geodezicele accelerează spre corpurile masive. Pentru a aplica această idee, el a propus ecuații care determină spațiul-timp să se curbeze exact cum trebuie pentru a imita efectele gravitației.

Aceste ecuații au multe consecințe care au fost confirmate prin observații de înaltă precizie. Ele provoacă expansiunea întregului univers. Ele prezic că orbitele planetelor în jurul Soarelui şi cea a Lunii în jurul Pământului se abat foarte puțin de la predicțiile fizicii newtoniene, iar efectele acestea au fost observate. Ele fac ca spațiul-timp din jurul corpurilor extrem de compacte să se curbeze atât de mult încât nici măcar lumina nu poate scăpa; acestea sunt găurile negre, şi există unele extraordinar de masive – cu mase de multe milioane de ori mai mari decât cele ale stelelor – în centrul majorității galaxiilor.

Poate cea mai remarcabilă consecință a ecuațiilor relativității generale este faptul că geometria spațiului-timp e distorsionată la trecerea unor unde prin el. Acestea sunt analoage cu distorsiunile de pe suprafața unui lac; geometria spațiului este cea care oscilează când îl străbat undele. Undele gravitaționale sunt produse de schimbări rapide în mişcarea unor corpuri foarte masive, cum ar fi două stele neutronice care orbitează una în jurul celeilalte, iar ele poartă prin univers imaginile acestor evenimente violente. În prezent se depune un mare efort pentru a detecta aceste imagini[7], care vor deschide astronomiei o nouă fereastră ce ne va permite să vedem în interiorul supernovelor care colapsează şi înapoi în timp până la primele momente ale big bang-ului – şi poate chiar înainte.

Efectele undelor gravitaționale au fost observate indirect. Atunci când două stele neutronice se rotesc rapid una în jurul celeilalte, undele gravitaționale pe care le produc absorb energie, făcându-le să se apropie una de alta pe traiectorii spirale. Această apropiere în spirală a fost observată şi s-a constatat că ea corespunde cu un grad înalt de precizie predicțiilor relativității generale.

*

Elaborând relativitatea generală, Einstein a declanşat o transformare radicală a perspectivei despre spațiu şi timp.

În fizica newtoniană, geometria spațiului este fixată o dată pentru totdeauna. Spațiul se presupune că are geometria spațiului euclidian tridimensional. Apare deci o asimetrie îngrijorătoare în relația dintre spațiu şi timp în fizica newtoniană: spațiul pare să spună materiei cum să se mişte, dar el însuşi nu se schimbă niciodată. Nu există reciproca. Spațiul nu este niciodată influențat de mişcarea materiei, sau măcar de prezența ei. Spațiul, se pare, ar fi exact la fel chiar dacă nu ar conține deloc materie.

Această asimetrie e corectată în relativitatea generală, unde spațiul devine dinamic. Materia influențează modificările geometriei la fel cum geometria influențează mişcarea materiei. Geometria devine pe deplin un aspect al fizicii, la fel şi câmpul electromagnetic. Ecuațiile lui Einstein care explicitează dinamica spațiului-timp sunt deci asemenea altor ipoteze: ele investighează proprietățile fenomenelor fizice şi relațiile lor reciproce.

Dacă geometria spațiului-timp ar fi fixată pentru totdeauna, am spune că spațiul şi timpul sunt absolute: numai detaliile diferă față de concepția lui Newton că proprietățile spațiului şi timpului sunt atemporale şi fixate. Faptul că geometria e dinamică şi influențată de distribuția materiei împlineşte ideea lui Leibniz că spațiul şi timpul sunt pur relaționale.

În formularea unei teorii relaționale a spațiului şi timpului, Einstein a fost călăuzit de Ernst Mach, care a introdus un principiu pe care-l numim *principiul lui Mach*. Acesta afirmă că numai mişcarea relativă contează, prin urmare, dacă amețim atunci când ne învârtim, este din cauză că ne învârtim în raport cu galaxiile îndepărtate. Aserțiunea că efectul se datorează exclusiv mişcării relative implică faptul că ne-am simți la fel de amețiți dacă am sta nemişcați şi întregul univers s-ar roti în jurul nostru.

Dar deşi relativitatea generală este radicală în aceste privințe, ea e conservatoare în altă privință, anume că se încadrează perfect în paradigma newtoniană. Există un spațiu al configurațiilor posibile ale geometriei şi materiei luate împreună. Condițiile inițiale fiind date, ecuațiile lui

Einstein determină complet viitoarea geometrie a unui spațiu-timp particular cu tot ce conține el, inclusiv materie şi radiație.

Iar în relativitatea generală, întreaga istorie a universului e reprezentată tot de un obiect matematic. Spațiul-timp al relativității generale corespunde unui obiect matematic mult mai complex decât spațiul euclidian tridimensional al teoriei lui Newton. Dar privit ca un univers-bloc, el este atemporal şi intact, fără vreo distincție între viitor şi trecut şi fără vreun rol ori indiciu pentru felul în care percepem prezentul.

*

Relativitatea generală a mai dat încă o lovitură rolului fundamental al timpului în fizică. Ideea că timpul este real şi fundamental presupune implicit că el nu poate avea un început. Căci dacă timpul are un început, atunci acea origine a timpului trebuie să fie explicabilă în termenii a ceva care nu este timp. Iar dacă timpul este explicabil în termenii a ceva atemporal, atunci el nu este fundamental, iar entitatea din care apare, oricare ar fi aceasta, e „mai fundamentală“. Dar în toate modelele

plauzibile de univers descrise de ecuațiile relativității generale timpul are întotdeauna un început.

La un an după publicarea, în 1916, a teoriei relativității generale, Einstein a aplicat-o întregului univers. El a făcut asta imaginându-şi că universul e finit ca întindere, dar fără o margine – asemenea unei sfere. Acesta a fost un pas profund; pentru prima oară, universul putea fi considerat de sine stătător şi finit. Dar deşi limitat ca mărime, e imposibil să ieşim din el. „În afara universului“ nu are nici un sens.

Închizând universul, Einstein a trebuit să presupună că toate ceasurile folosite pentru măsurarea timpului sunt în interiorul sistemului. El a putut face asta fiindcă ecuațiile teoriei sale au o trăsătură nouă, anume că ele au sens indiferent ce ceasuri se folosesc pentru măsurarea timpului şi ce dispozitive se folosesc pentru măsurarea spațiului. Timpul şi spațiul pot fi măsurate într-un mod oricât de bizar şi dezordonat fără ca aceasta să afecteze funcționarea ecuațiilor. Aşa încât teoria nu mai era dependentă de măsurători făcute cu ceasuri speciale aflate în afara sistemului.[12] Eliminând necesitatea unui ceas exterior sistemului, relativitatea generală face câțiva paşi în direcția unei

teorii relaționale a fizicii. Dar ea se bazează tot pe paradigma newtoniană, întrucât poate fi formulată în termenii unor legi atemporale care acționează asupra unui spațiu al configurațiilor atemporal.

La început, Einstein a încercat să modeleze un univers care era nu doar finit în spațiu, ci şi etern şi neschimbător în timp. Deşi Einstein a fost omul de ştiință cu gândirea cea mai originală, imaginația lui l-a trădat de data aceasta, întrucât se pare că nu i-a trecut prin minte să conceapă universul altfel decât static şi etern. Dar exista o problemă, anume că forța gravitațională este în mod universal atractivă şi întotdeauna acționează pentru a aduce lucrurile la un loc. Asta înseamnă că gravitația acționează asupra întregului univers pentru a-l face să se contracte. Dacă universul se extinde, gravitația îi va încetini expansiunea. Dacă el nici nu se extinde, nici nu se contractă, gravitația va acționa pentru a începe o contracție. Einstein ar fi putut aşadar prezice că universul trebuie să fie variabil în timp, extinzându-se sau contractându-se. În schimb, el şi-a modificat teoria în încercarea de a menține universul static, iar astfel a făcut fără să vrea o altă descoperire – care a fost abia de curând confirmată observațional.

Einstein şi-a modificat ecuațiile adăugând un termen care se opune gravitației şi face ca universul să se extindă. Modificarea a introdus o nouă constantă a naturii, reprezentând o densitate de energie a spațiului vid. Einstein a numit-o *constantă cosmologică*. O dovadă convingătoare în favoarea ei este oferită de recent observata accelerare a expansiunii universului. Un nume mai general pentru cauza expansiunii accelerate este *energie întunecată*, dar dacă densitatea acesteia e constantă în spațiu şi timp, ea poate fi descrisă de constanta cosmologică a lui Einstein. Până acum observațiile sunt compatibile cu aceasta, dar există şi scenarii cosmologice în care energia întunecată trebuie până la urmă să varieze.

Nu cred că Einstein şi-a imaginat vreodată că într-o bună zi constanta aceasta va fi măsurată, dar a fost. Are o valoare incredibil de mică – şi consecințe enorme. Deşi minusculă, efectele sale se însumează pe întinderea universului. Există aşadar două forțe opuse care acționează asupra universului. Gravitația provenită de la întreaga materie provoacă contracție, în vreme ce constanta cosmologică accelerează expansiunea.

Einstein a propus un univers static, în care aceste forțe se echilibrează exact. Dar şi în cazul acesta exista o problemă – echilibrul e instabil. Dați universului doar un mic bobârnac, şi una din tendințe va învinge, aşa încât el trebuie fie să se extindă veşnic, fie să se contracte. Universul este plin de stele în mişcare, găuri negre şi unde gravitaționale, iar acestea ar da suficiente bobârnace pentru a garanta că el nu poate rămâne mult timp în echilibru.

Concluzia uimitoare este că universul trebuie să aibă o istorie. El se poate extinde şi se poate contracta, dar nu poate rămâne neschimbat. În anii 1920, mai mulți astronomi şi fizicieni au descoperit soluții ale ecuațiilor relativității generale – soluții care descriu universuri în expansiune. Aceasta a fost oportun, deoarece în 1927 astronomul Edwin Hubble descoperise dovezi că universul e în expansiune – ceea ce presupune că a avut un început. Şi, într-adevăr, toate noile soluții care nu erau instabile aveau un prim moment în timp.

Acele soluții sunt asociate cu numele lui Aleksandr Friedmann, H.P. Robertson, Arthur Walker şi Georges Lemaître şi se numesc universuri FRWL. Sunt modele foarte simple, deoarece presupun că

universul este la fel pretutindeni în spațiu: altfel spus, densitatea materiei şi a radiației este aceeaşi peste tot. În primul moment de timp într-un univers FRWL, densitatea materiei şi a radiației şi intensitatea câmpului gravitațional devin infinite şi constituie o *singularitate inițială*. În acel punct, relativitatea generală nu mai funcționează, pentru că ecuațiile nu mai descriu evoluția viitorului pornind de la prezent. Mărimile infinite le fac inutilizabile.

Reacția majorității fizicienilor a fost că ecuațiile dădeau greş fiindcă modelele studiate erau prea simple. Ei au susținut că prin introducerea mai multor detalii – astfel încât universul să poată avea caracteristici locale, precum stele, galaxii şi unde gravitaționale – singularitatea ar fi eliminată şi am putea continua să extrapolăm timpul înapoi dincolo de acel punct. Ipoteza aceasta era greu de confirmat, deoarece înainte de apariția supercalculatoarelor studiul complet al soluțiilor generale ale ecuațiilor teoriei lui Einstein era imposibil. Ca urmare, ipoteza a supraviețuit timp de câteva decenii numai fiindcă era dificil de testat. Dar ea s-a dovedit a fi greşită. În anii 1960, Stephen Hawking şi Roger Penrose au demonstrat o

teoremă care afirmă că toate soluțiile ecuațiilor relativității generale capabile să descrie universul nostru conțin singularități.

Dacă relativitatea generală este o descriere corectă a universului nostru, e greu de evitat concluzia că timpul nu poate fi fundamental. Altminteri trebuie să răspundem la câteva întrebări stingheritoare, de pildă: Ce s-a întâmplat înainte de începutul timpului? Şi ce a pus în mişcare universul? Şi mai enigmatice sunt întrebările despre legile atemporale: Dacă legile sunt atemporale, ce făceau ele înainte de a fi existat un univers pe care să-l guverneze? În mod evident răspunsul este că *nu a existat* timp înaintea universului, ceea ce înseamnă că legile trebuie să fie un aspect al lumii mai profund decât timpul.

În unele dintre aceste soluții, timpul, odată pornit, continuă veşnic, pe măsură ce universul se extinde şi se diluează. Dar în alte soluții, universul atinge o expansiune maximă, după care colapsează într-o mare implozie (*big crunch*), în care multe mărimi observabile devin din nou infinite; aceste din urmă soluții descriu universuri în care timpul are, de asemenea, un sfârşit. Un timp care porneşte şi se opreşte nu reprezintă o problemă pentru imaginea universului-bloc,

în cadrul căreia reală este istoria universului luată ca un întreg atemporal. Acea realitate nu este compromisă dacă ea implică o lume în care timpul începe sau se sfârşeşte. Dimpotrivă, descoperirea unui început al timpului în soluții ale ecuațiilor relativității generale care descriu un întreg univers consolidează imaginea universului-bloc, întrucât subminează orice afirmație că timpul este „mai fundamental“ decât legea.

Am străbătut o cale lungă în povestea eliminării timpului din perspectiva fizicienilor asupra naturii. Am început, la fel ca Galilei şi Descartes, captând mişcarea şi încremenind timpul prin metoda lor grafică, în care timpul e reprezentat ca şi cum ar fi o altă dimensiune a spațiului. În teoria relativității, aceste imagini ale mişcării aşezate în timp devin spațiu-timp, o imagine atemporală a istoriei universului în care momentului prezent nu i se atribuie nici o realitate. Relativitatea simultaneității ne spune că nu ne putem întoarce pentru a separa timpul de spațiu. Putem merge doar înainte către imaginea universului-bloc, în care istoria universului e prezentată ca un întreg atemporal. Relativitatea restrânsă şi cea generală fiind bine confirmate experimental, noi, fizicienii, avem

într-adevăr multe motive să adoptăm o imagine atemporală a realității.

---

6. Pentru o prezentare detaliată a noțiunii de univers-bloc, vezi Jim Al-Khalili, *Găuri negre, găuri de vierme şi călătoria în timp* (Humanitas, Bucureşti, 2021) (n. red.).

7. Unde gravitaționale provenite din contopirea a două găuri negre au fost detectate pentru prima oară pe 14 septembrie 2015. Doi ani mai târziu, pe 17 august 2017, au fost observate şi unde gravitaționale generate de ciocnirea a două stele neutronice. Fenomenul a avut loc în galaxia NGC 4993, aflată la circa 130 de milioane de ani-lumină, în constelația Hydra (n. tr.).

7. Cosmologia cuantică şi sfârşitul timpului

În vacanța de Crăciun de la sfârşitul primului meu semestru la Hampshire College, am venit la New York să stau în apartamentul din Greenwich Village al vărului meu. Dimineața, am luat metroul spre centru, la prima mea conferință de fizică, grandios intitulată al VI-lea Simpozion de Astrofizică Relativistă din Texas, care se ținea la un hotel elegant din centrul Manhattanului. Nu fusesem invitat şi nu cred că mă înscrisesem, dar Herb Bernstein, profesorul meu de fizică, îmi sugerase să trec pe acolo. Nu cunoşteam pe nimeni, dar cumva l-am întâlnit pe Kip Thorne, de la Caltech, care mi-a spus că pentru a învăța bine relativitatea generală trebuia să studiez după manualul pe care tocmai îl scrisese împreună cu Charles Misner şi John Archibald Wheeler.[1] L-am întâlnit pe Lane Hughston, un tânăr matematician american de la Oxford, care timp de o oră mi-a explicat noua şi

revoluționara teorie a twistorilor, după care m-a prezentat creatorului acesteia, Roger Penrose.

La una dintre conferințe, mă aşezasem în intervalul dintre rânduri când un bărbat într-un scaun cu rotile a venit alături de mine. Stephen Hawking era deja faimos pentru lucrările sale asupra relativității generale, iar atunci era cu un an înainte de uimitoarea lui descoperire că găurile negre sunt fierbinți. Un bărbat înalt cu barbă, cu maniere elegante, s-a oprit să discute cu el după care a fost chemat pe podium. Era Bryce DeWitt. Nu-mi aduc aminte despre ce a vorbit, dar auzisem despre el şi ecuațiile sale care descriu universurile cuantice. Nu am avut curaj să vorbesc cu vreunul dintre ei, şi cu siguranță nu mi-am imaginat că şapte ani mai târziu, după ce-mi voi fi terminat doctoratul, aceşti doi giganți ai fizicii moderne mă vor invita să lucrez împreună cu ei.

Bryce DeWitt, John Wheeler, Charles Misner şi Stephen Hawking se aflau pe atunci în plin proces de creare a unui nou domeniu: cosmologia cuantică. Îmbinarea inventată de ei a relativității generale cu mecanica cuantică este piscul ascensiunii noastre către lumea atemporală a fizicii contemporane. În universul cuantic descris

de ei, timpul nu doar că e redundant, el dispare cu desăvârşire. Cosmosul cuantic nu evoluează şi nu se schimbă, nu se extinde şi nu se contractă, el pur şi simplu este.

Subiectul acesta, trebuie subliniat, este un domeniu extrem de speculativ şi poetic al fizicii teoretice care deocamdată nu are nici o legătură solidă cu observația. Concluziilor care se pot trage din el le lipseşte autoritatea imaginii asupra naturii oferită de teoria relativității, care a triumfat experimental în repetate rânduri şi continuă să ne surprindă cu acuratețea predicțiilor sale.

Începem cu mecanica cuantică, care este un triumf al metodei de a face fizică într-o cutie. Va trebui să explic doar câteva lucruri esențiale despre cum sunt modelate subsistemele universului în mecanica cuantică, spre a pregăti calea pentru o extrapolare în două etape a fizicii actuale. În primul rând, trebuie să unificăm mecanica cuantică cu relativitatea generală pentru a obține o teorie cuantică a gravitației. Există diferite abordări ale acestei unificări, dar deocamdată nici un experiment care să decidă între ele; se ştie însă destul despre cum ar putea fi formulată o asemenea teorie

pentru a trece la etapa a doua, care e includerea întregului univers în teoria cuantică.

Vom vedea că rezultatul este o imagine atemporală a naturii.

Mecanica cuantică ne oferă o descriere foarte reuşită a sistemelor microscopice, cum ar fi atomii şi moleculele. Dar e derutantă. Ca rezultat al încercărilor de a o înțelege, au fost inventate mai multe interpretări ale sale radical diferite. Acestea se deosebesc prin implicațiile asupra timpului şi asupra posibilității teoriei cuantice de a fi aplicată întregului univers – ambele teme importante pentru discuția noastră de aici.[2]

În opinia mea, cea mai bună cale de a explica mecanica cuantică e să începem prin a discuta despre rostul ştiinței. Mulți dintre noi cred că scopul ştiinței e să descrie natura aşa cum este ea în realitate – să ofere o imagine a lumii despre care putem crede că ar fi adevărată chiar dacă noi nu am fi aici s-o vedem. Cei care concep ştiința în felul acesta vor fi dezamăgiți de mecanica cuantică, fiindcă ea nu oferă nici o imagine despre ce se întâmplă într-un experiment individual.

Niels Bohr, unul dintre fondatorii teoriei cuantice, a susținut că cei astfel dezamăgiți

aveau o idee greşită despre rostul ştiinței. Problema nu este teoria, ci ce aşteptăm noi de la o teorie. Bohr a proclamat că scopul unei teorii ştiințifice nu e să descrie natura, ci să ne ofere reguli pentru manipularea obiectelor din lume şi un limbaj pe care să-l putem folosi pentru a comunica rezultatele.

Limbajul mecanicii cuantice presupune o intervenție activă în natură, fiindcă el vorbeşte despre modul cum interoghează experimentatorul un sistem microscopic. El poate prepara sistemul aşa încât acesta să fie izolat şi pregătit pentru a fi studiat. Îl poate transforma supunându-l unor diverse influențe exterioare. După care îl poate măsura introducând dispozitive care citesc răspunsurile la întrebările pe care ar vrea să le pună sistemului. Limbajul matematic al mecanicii cuantice reprezintă fiecare pas din procesul preparării, transformării şi măsurării. Datorită accentului pus pe ceea ce facem unui sistem cuantic, aceasta poate fi numită o abordare operațională a fizicii cuantice.

Obiectul matematic central în descrierea cuantică a unui sistem se numeşte *stare cuantică*. Ea conține toată informația pe care un observator o poate avea despre un sistem cuantic ca urmare a preparării şi măsurării

sale. Informația aceasta e limitată, şi în majoritatea cazurilor insuficientă pentru a prezice exact unde sunt particulele care alcătuiesc sistemul. În schimb, o stare cuantică oferă *probabilitățile* pentru locurile unde am putea găsi particulele dacă le-am măsura pozițiile.

Să considerăm un atom, constând dintr-un nucleu cu câțiva electroni în jurul său. Cea mai precisă descriere a atomului ar fi să spunem unde este fiecare electron. Fiecare aranjament al electronilor este o configurație. În schimb, cea mai bună descriere cuantică atribuie o probabilitate fiecărei configurații posibile a electronilor.[3]

Cum verificăm predicțiile unei teorii, dacă acele predicții sunt doar probabilistice? Să ne gândim la predicția că o monedă aruncată va cădea avers în 50% din cazuri. Pentru a verifica aceasta, nu putem arunca doar o monedă o singură dată; rezultatul va fi avers sau revers, ambele consistente cu predicția că fiecare apare în jumătate din cazuri. Trebuie să aruncăm moneda de multe ori şi să consemnăm proporția aruncărilor care au ca rezultat avers. Pe măsură ce numărul aruncărilor creşte, proporția aversurilor va tinde către 50%. La fel se întâmplă cu predicțiile probabilistice ale mecanicii

cuantice: pentru a le confirma, experimentul trebuie repetat de multe ori.[4] A măsura un singur sistem cuantic este ca şi cum ai arunca moneda o singură dată: indiferent de rezultatul aleatoriu obținut, acesta va fi compatibil cu aproape oricare predicție a teoriei.

Metoda aceasta are sens numai dacă e aplicată unui sistem mic şi izolat, de exemplu un atom de hidrogen. Pentru a verifica predicțiile, avem nevoie de un număr mare de copii identice ale sistemului: dacă dispunem de una singură, nu putem verifica predicțiile – fiindcă ele sunt probabilistice! Trebuie de asemenea să putem manipula acest ansamblu de sisteme, mai întâi preparându-le în starea cuantică ce ne interesează, iar apoi măsurând ceva în legătură cu ele. Dar dacă dispunem de multe copii ale unui sistem în lume, atunci fiecare copie trebuie să fie doar o mică parte din ceea ce există. Printre lucrurile care nu fac parte din sistem sunt instrumentele şi axele de coordonate pe care le folosim pentru a măsura configurațiile sistemului.

Prin urmare aplicabilitatea mecanicii cuantice pare a fi limitată la sistemele izolate. Ea este o extensie a paradigmei newtoniene – a face fizică într-o cutie. Pentru

a vedea cât de ferm se bazează metoda mecanicii cuantice pe studiul sistemelor izolate, să examinăm cum este descrisă schimbarea în timp.

Legile mecanicii newtoniene sunt deterministe, ceea ce înseamnă că teoria oferă predicții exacte asupra evoluției în timp a unui sistem. În mod similar, o lege a mecanicii cuantice ne spune cum evoluează în timp starea cuantică a unui sistem. Legea aceasta e de asemenea deterministă, în sensul că, fiind dată o stare cuantică inițială, putem prezice exact care va fi starea cuantică la un moment ulterior.

Legea de evoluție a stărilor cuantice se numeşte *ecuația Schrödinger*. Ea funcționează la fel ca legile lui Newton, dar ne spune cum se modifică în timp stările, nu pozițiile particulelor. Dacă introducem o stare cuantică inițială, ecuația Schrödinger ne va spune care va fi starea cuantică la orice moment ulterior.

La fel ca în cazul fizicii newtoniene, ceasul trebuie să fie în exteriorul sistemului, împreună cu observatorii şi instrumentele lor de măsură. Dar, deşi evoluția stării cuantice e deterministă, implicațiile pentru configurația

exactă a atomilor sunt doar probabilistice – fiindcă legătura dintre starea cuantică şi configurații este ea însăşi probabilistică.

Cerința ca ceasul care măsoară timpul în mecanica cuantică să fie în exteriorul sistemului are consecințe grave dacă încercăm să aplicăm teoria cuantică întregului univers. Prin definiție, nimic nu poate fi în afara universului, nici chiar un ceas. Deci cum se modifică starea cuantică a universului în raport cu un ceas din exteriorul lui? Deoarece un astfel de ceas nu există, singurul răspuns posibil este că ea nu se modifică în raport cu un ceas din exterior. Ca urmare, starea cuantică a universului, privită dintr-un punct de observație fictiv situat în afara lui, pare încremenită în timp.

Acesta e un argument verbal vădit alunecos care, s-ar părea, poate duce cu uşurință la concluzii eronate. Dar în cazul de față matematica vine în ajutor, oferindu-ne acelaşi rezultat ca atunci când aplicăm ecuația Schrödinger la starea cuantică a universului: starea nu se modifică în timp.

În teoria cuantică, schimbarea în timp se leagă de energie. Aceasta e consecința unei trăsături fundamentale a fizicii cuantice numită dualitatea undă-particulă.

Newton considera că lumina e alcătuită din particule. Mai târziu, au fost studiate fenomenele de interferență şi difracție, iar pentru explicarea lor s-a emis ipoteza că lumina este o undă. În 1905, Einstein a rezolvat dilema cu privire la natura luminii propunând că ea are deopotrivă aspecte de undă şi de particulă. Aproape două decenii mai târziu, Louis de Broglie a propus că această dualitate undă-particulă e universală: tot ce se mişcă are unele aspecte ondulatorii şi unele aspecte corpusculare.

Poate părea misterios. Este cu siguranță imposibil să vizualizezi ceva care e atât undă, cât şi particulă, dar, aşa cum am remarcat, mecanica cuantică descrie fenomene care nu pot fi vizualizate. Putem să manipulăm particule cuantice în experimente şi să vorbim despre cum reacționează ele când sunt măsurate, dar nu putem să vizualizăm ce se petrece în absența acțiunii noastre asupra naturii.

Un aspect ondulatoriu al luminii este frecvența ei, numărul de oscilații pe secundă. Un aspect corpuscular al luminii este energia ei; fiecare particulă de lumină are o anumită cantitate de energie. În mecanica cuantică,

energia din imaginea corpusculară este întotdeauna proporțională cu frecvența din imaginea ondulatorie.[5]

Înarmați cu înțelegerea dualității undă-particulă, să ne întoarcem la starea cuantică a universului. Pentru că nu există nici un ceas în afara universului, starea lui cuantică nu se poate modifica în timp. Prin urmare frecvența sa de oscilație trebuie să fie zero – încremenit fiind, el nu poate oscila. Dar cum frecvența e proporțională cu energia, asta înseamnă că energia universului trebuie să fie zero.

Există o cantitate negativă de energie captivă în orice sistem menținut unit prin gravitație. Să considerăm sistemul solar. Dacă am vrea să smulgem planeta Venus de pe orbita sa în jurul Soarelui şi s-o expulzăm din sistemul solar, ar fi nevoie de energie. Din moment ce trebuie să furnizăm energie pentru a o aduce pe Venus într-o stare în care nu are energie, înseamnă că în timp ce se află pe orbită ea are o energie negativă. Această energie negativă se numeşte energie potențială gravitațională.

Universul poate avea energie totală zero dacă energia potențială gravitațională care

menține laolaltă părțile lui compensează exact energia pozitivă din univers, exprimată în masele şi mişcările întregii sale materii.

Având energie şi frecvență zero, starea cuantică a universului e încremenită. Universul cuantic nu se extinde şi nici nu se contractă. Nu e străbătut de unde gravitaționale. Nu se formează galaxii, iar în jurul stelelor nu se rotesc planete. Universul cuantic există şi atâta tot.[6]

Aceste consecințe ale aplicării mecanicii cuantice la întregul univers au fost descoperite la jumătatea anilor 1960 de pionierii gravitației cuantice: DeWitt, Wheeler şi Peter Bergmann. Modificarea ecuației Schrödinger la care ne-am referit – cu condiția că starea cuantică este încremenită – poartă numele a doi dintre ei, fiind cunoscută ca *ecuația Wheeler–DeWitt.* Destul de repede, ei au observat dispariția timpului şi oamenii au început să discute implicațiile. Continuăm să discutăm. O dată la câțiva ani, cineva găzduieşte o conferință consacrată Problemei Timpului în Cosmologia Cuantică. Ingeniozitatea umană nu are limite, astfel încât au fost oferite o gamă largă de răspunsuri şi propuneri.

Starea de încremenire a universului nu e singurul neajuns dacă încercăm să aplicăm teoria cuantică la cosmologie.[7]

Există un singur univers, prin urmare nu putem construi o populație de sisteme aflate în stări cuantice identice şi să comparăm măsurătorile efectuate asupra lor cu probabilitățile prezise de mecanica cuantică. Din capul locului, posibilitățile de a compara teoria cu experimentul sau cu observația se reduc drastic.

Lucrurile stau însă şi mai rău, fiindcă nu putem prepara universul într-o stare cuantică inițială, necum să studiem consecințele diferitelor alegeri ale stării inițiale. Universul s-a întâmplat o singură dată şi a avut starea inițială pe care a avut-o. Noi nu am fost acolo ca să-i alegem starea inițială, şi chiar dacă am fi fost, nu am fi putut manipula universul, pentru că am fi făcut parte din el. Însăşi ideea de a prepara universul într-o stare inițială ne învesteşte cu statutul divin al unei existențe în afara universului.

Tragediile cosmologiei cuantice alcătuiesc o listă formidabilă: Nu putem prepara starea inițială a unui univers cuantic şi nu putem acționa asupra lui din exterior pentru a-l transforma. Nu avem acces la un ansamblu de universuri pentru a da semnificație

probabilităților furnizate de formalismul cuantic. Pe deasupra, nu există un loc în afara universului unde să ne plasăm instrumentele de măsură. Prin urmare, nu se pune problema să măsurăm schimbarea cu un ceas exterior sistemului cuantic studiat.

Dintr-un punct de vedere operațional, aplicarea mecanicii cuantice întregului univers a fost de la bun început o nebunie. Ea a dat greş pentru că am aplicat-o într-un context în care nici una dintre definițiile operaționale care definesc teoria nu are sens. Toate acestea decurg din eroarea de a extinde asupra întregului univers o metodă bine adaptată pentru mici părți ale sale.

Problema este chiar un pic mai dificilă decât am menționat aici, pentru că în relativitatea generală alegerea unei coordonate temporale este, aşa cum am văzut, complet arbitrară. Aşadar trebuie să ne întrebăm: „Dacă *ar exista* un ceas în afara universului, cărei noțiuni de timp din interiorul universului i-ar corespunde acesta?“ Şi: „Dacă *ar exista* o stare cuantică oscilantă, care ceasuri din univers ar înregistra-o ca pe o oscilație regulată?“ Răspunsurile sunt: „Tuturor noțiunilor posibile de timp şi toate ceasurile posibile.“ Drept urmare, nu există o singură ecuație

Wheeler–DeWitt, ci o infinitate. Ele afirmă că frecvența cu care oscilează starea cuantică este zero pentru toate noțiunile posibile de timp şi toate ceasurile posibile din interiorul universului. Pentru orice ceas posibil, purtat de orice observator posibil, în universul cuantic nu se întâmplă nimic.

Toate acestea au rămas speculații timp de două decenii, fiindcă nimeni nu a putut să rezolve efectiv ecuațiile Wheeler–DeWitt. Până la inventarea abordării gravitației cuantice numită gravitație cuantică cu bucle nu a existat un context în care aceste ecuații să poată fi formulate cu suficientă precizie pentru a fi rezolvate. Această revoluție a fost inițiată de descoperirea de către Abhay Ashtekar a unei noi formulări a relativității generale în 1985.[8] Câteva luni mai târziu, am avut şansa să lucrez la Institutul pentru Fizică Teoretică (numit acum Institutul Kavli pentru Fizică Teoretică) din cadrul Universității din California, în Santa Barbara, împreună cu Ted Jacobson (în prezent la Universitatea din Maryland), şi am găsit primele soluții exacte ale ecuațiilor Wheeler–DeWitt – în fapt, o infinitate.[9] Mai erau şi alte ecuații care trebuiau rezolvate pentru a scrie o stare cuantică completă a câmpului gravitațional, iar lucrul acesta l-a

realizat doi ani mai târziu Carlo Rovelli, pe atunci la Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Universitatea din Roma.[10] Lucrurile progresau rapid şi un set mult mai mare de soluții a fost descoperit de către Thomas Thiemann la Harvard, la începutul anilor 1990.[11] De atunci au fost dezvoltate tehnici şi mai puternice pentru generarea soluțiilor, bazate pe ceea ce numim acum modele ale spumei de spin [*spin-foam*].[12] Aceste rezultate fac şi mai urgentă rezolvarea problemei timpului într-un univers atemporal, pentru a da semnificație fizică tuturor acestor soluții matematice ale unei teorii cuantice a gravitației.

Esența problemei este dacă se poate spune că timpul „emerge“ din universul atemporal, astfel încât teoria să nu intre în contradicție flagrantă cu aspectele timpului pe care le vedem în lume. Unii dintre colegii mei sugerează că timpul face parte dintr-o descriere aproximativă a universului – o descriere care e utilă la scară mare, dar se dizolvă dacă privim prea îndeaproape. Aşa este temperatura: corpurile macroscopice au temperatură, dar particulele individuale nu au, pentru că temperatura unui corp este media energiilor atomilor care îl alcătuiesc. Unii fizicieni au propus ideea că timpul, la

fel ca temperatura, are sens numai în lumea macroscopică, dar nu e relevant la scara Planck. Alte abordări urmăresc să descopere timpul în corelațiile dintre diferite subsisteme ale universului.

Am petrecut nenumărate ore reflectând asupra acestor abordări despre cum ar putea să apară timpul dintr-un univers atemporal, şi nu sunt deloc convins că vreuna dintre ele funcționează. În unele cazuri motivele sunt tehnice, şi nu ar avea rost să le prezint aici. Motivele mai profunde ale scepticismului meu în privința cosmologiei cuantice vor face subiectul părții a II-a.

Prietenii mei aflati în cealaltă tabără în această dezbatere susțin că presupunerile care conduc la ecuațiile Wheeler–DeWitt implică numai principiile mecanicii cuantice şi ale relativității generale luate împreună. Dat fiind că principiile acestea sunt fiecare, în domeniile lor individuale, bine confirmate experimental, este înțelept ca mai întâi să luăm în serios toate implicațiile lor şi să încercăm să le înțelegem şi să le dezvoltăm.

Pe când eram unul dintre cercetătorii postdoctorali din echipa lui, Bryce DeWitt obişnuia să ne îndemne să nu impunem unei teorii prejudecățile noastre metafizice, ci să lăsăm teoria să-şi dicteze propria sa

interpretare. Îl mai aud şi acum sfătuindu-ne, cu vocea lui blândă, „lăsați teoria să vorbească“.

Dintre încercările de a înțelege cosmologia cuantică generată de ecuațiile Wheeler–DeWitt, cea mai temeinic studiată a fost propusă de fizicianul, filozoful şi istoricul ştiinței britanic Julian Barbour, care a descris-o în cartea sa din 1999, *The End of Time*. Ideea lui Barbour e radicală, dar nu e greu de explicat în cuvinte. El afirmă că, în esență, tot ce există este o vastă colecție de momente încremenite. Fiecare moment are forma unei configurații a universului. Fiecare configurație există – şi este percepută de orice ființe prinse în acea configurație – ca un moment de timp. Barbour numeşte mulțimea tuturor momentelor „mormanul [*heap*] de momente“. Momentele din morman nu se succedă, nu urmează unul după altul. Ele nu sunt ordonate în nici un fel. Ele sunt şi atâta tot. În imaginea metafizică a lui Barbour, nu există absolut nimic în afară de aceste momente pure de timp.

„Dar eu percep trecerea timpului“, ați putea obiecta. Barbour spune că nu. Tot ce percepe oricare dintre noi, insistă el, sunt momente – instantanee de experiență.

Pocneşte din degete – acesta a fost un instantaneu, un moment din morman. Pocneşte încă o dată din degete – acesta e un alt moment. Ai impresia că al doilea a urmat după primul, dar e o iluzie. Crezi astfel pentru că în al doilea moment ai o amintire a primului. Dar amintirea aceea nu este o *experiență* a trecerii timpului (ceea ce Barbour spune că nu se întâmplă niciodată); atâta doar că amintirea primului moment face parte din experiența celui de-al doilea. Tot ce percepem – şi tot ce este real, potrivit lui Barbour – sunt momentele individuale din morman.

Există totuşi o urmă de structură în morman. Momentele pot fi reprezentate de mai multe ori. Putem vorbi atunci despre *frecvența relativă* a momentelor; un moment poate fi prezent de un miliard de ori mai mult decât un altul.

La aceste frecvențe relative ale momentelor se referă probabilitățile date de starea cuantică. Două configurații au o probabilitate relativă să apară în morman, dată de probabilitatea lor relativă în starea cuantică.

Asta e tot. Există un singur univers cuantic, descris de o singură stare cuantică. Acel univers constă dintr-o mulțime foarte

mare de momente. Unele apar în număr mai mare decât altele. Iar unele apar, într-adevăr, în număr incomparabil mai mare decât altele.

Unele dintre configurațiile din morman care apar în număr mare sunt banale. Ele descriu un moment de timp într-un univers plin cu un gaz de fotoni sau cu un gaz din atomi de hidrogen. Barbour susține că, în starea cuantică actuală a universului, majoritatea acestor configurații banale au volum mic. De aici el prezice o corelație între a fi mic şi a fi banal. Dacă am presupune existența timpului, am spune că universul *a fost* banal atunci *când* a fost mic. Barbour afirmă că e suficient să spunem că a fi mic şi a fi banal sunt proprietăți puternic corelate ale momentelor din morman.

Alte configurații din morman sunt interesante – pline de complexitate, cu ființe vii precum noi înşine, locuind pe planete rotindu-se în jurul unor stele care formează galaxii, care, la rândul lor, sunt dispuse în filamente şi roiuri. Barbour afirmă că în starea cuantică adecvată, proprietatea de a fi plin de complexitate şi viață e corelată cu un volum mare. Prin urmare multe, poate majoritatea configurațiilor din morman care au volume mari vor conține ființe vii.

De asemenea, Barbour afirmă că, în starea cuantică adecvată, configurațiile care apar în cel mai mare număr au structuri care se referă implicit la alte momente. Aceste referiri sunt ceea ce Barbour numeşte „capsule ale timpului“. Ele sunt amintiri, cărți, artefacte, fosile, ADN etc. Ele spun o poveste deschisă interpretării în termenii unei succesiuni de momente în care lucrurile au decurs cumulativ, ducând la complexitate. Cu alte cuvinte, capsulele timpului susțin iluzia că timpul trece.

Potrivit teoriei lui Barbour, cauzalitatea e tot o iluzie. Nimic nu poate fi cauza nici unui alt lucru, pentru că în realitate nimic nu se întâmplă în univers. Există doar un vast maldăr de momente, dintre care unele sunt percepute de ființe precum noi înşine. În realitate, fiecare experiență a fiecărui moment este doar atât – neconectată cu restul. Există momente, dar nu există nici o ordonare a lor, nici o trecere a timpului.

Dar ecuațiile Wheeler–DeWitt permit apariția unor noțiuni aproximative de ordine şi cauzalitate, astfel încât există corelații între momentele care apar în cel mai mare număr – corelații care dau impresia că ar exista o succesiune de momente în timp, între care procesele cauzale ar putea să

opereze. Cu un grad înalt de aproximație, povestea unei succesiuni de momente poate fi utilă pentru a explica structurile care apar în momente. Dar nu este o poveste fundamentală, iar la o examinare suficient de atentă, nu există ordine şi nici cauzalitate, ci doar un morman de momente.

Teoria lui Barbour are trăsăturile sale elegante. Ea rezolvă în mod abil problema semnificației probabilităților în cosmologia cuantică. Există un singur univers, dar el conține multe momente. Probabilitățile cuantice sunt probabilități reale ale frecvențelor relative pentru ca momentele să existe ca parte a realității. În măsura în care schema lui Barbour funcționează în detaliu, ea explică felul în care apare impresia că lumea are o istorie pe durata căreia procesele cauzale contribuie la construirea unor structuri complexe. Propunerea aceasta explică şi aparenta direcționalitate a timpului: există o direcție privilegiată în spațiul configurațiilor, dinspre configurațiile cu volum mic către cele cu volum mai mare. Când apare timpul, creşterea volumului se corelează bine cu creşterea timpului, ceea ce explică de ce universul pare să aibă o săgeată a timpului.

Versiunea lui Barbour a cosmologiei cuantice atemporale oferă o consolare pentru faptul că suntem muritori. O pot simți. Aş vrea s-o pot crede. Ne percepem pe noi înşine într-un ansamblu de momente. Potrivit lui Barbour, asta e tot. Momentele acelea există întotdeauna, veşnic. Trecutul nu s-a pierdut. Trecutul, prezentul şi viitorul ne însoțesc mereu. Poate că experiența noastră figurează într-o mulțime finită de momente, dar acele momente nu dispar şi nu încetează niciodată. Prin urmare, nimic nu se sfârşeşte când ajungem în ultima noastră zi. Atâta doar că *acum* percepem un moment care are toate amintirile pe care le vom avea vreodată. Dar nimic nu încetează, fiindcă nimic nu a început vreodată. Frica de moarte se întemeiază pe o iluzie, care, la rândul ei, se întemeiază pe o eroare intelectuală. Nu există o curgere a timpului care se termină, fiindcă timpul nu curge. Există întotdeauna, şi vor exista întotdeauna, doar momentele vieții noastre.

Nu mă voi lansa în speculații privind ce ar fi gândit Einstein despre cosmologia cuantică atemporală a lui Julian Barbour. Dar există dovezi că îl mulțumea şi îl consola dispariția timpului din imaginea universului-bloc. Încă din adolescență, încercase să transceandă

haotica lume umană prin contemplarea legilor atemporale ale naturii. Într-o scrisoare de consolare către văduva prietenului său Michele Besso, Einstein scria: „Acum el a plecat din lumea aceasta stranie cu puțin înaintea mea. Asta nu are nici o însemnătate. Oameni ca noi, care cred în fizică, ştiu că deosebirea dintre trecut, prezent şi viitor e doar o iluzie care persistă cu încăpățânare.“

PARTEA A II-A
LUMINA: TIMPUL RENĂSCUT

INTERLUDIU
Nemulțumirea lui Einstein

Universul-bloc din teoriile relativității ale lui Einstein a fost pasul decisiv în eliminarea timpului din fizică. Dar Einstein însuşi avea o atitudine ambiguă în privința dispariției timpului din perspectiva asupra naturii la a cărei edificare contribuise atât de mult. Am văzut că găsea consolare în imaginea universului-bloc a cosmosului atemporal – şi totuşi se pare că Einstein nu era mulțumit de implicațiile acestuia. Ştim asta din *Autobiografia intelectuală* a filozofului vienez Rudolf Carnap, care a relatat o conversație cu Einstein asupra timpului:

> Einstein a spus odată că problema lui Acum îl îngrijora în mod serios. El a explicat că experiența lui Acum înseamnă ceva special pentru om, ceva esențial diferit de trecut şi de viitor, dar că această deosebire importantă nu apare şi nu poate să apară în fizică. Faptul că ştiința nu

poate să înțeleagă experiența aceasta i se părea o resemnare dureroasă, dar inevitabilă.

Dacă Einstein era frământat de îndoieli, Carnap nu avea nici un dubiu în privința poziției sale:

Am remarcat că tot ce apare în mod obiectiv poate fi descris în ştiință; pe de o parte, succesiunea temporală a evenimentelor e descrisă în fizică; iar pe de altă parte, trăsăturile caracteristice ale experienței omului asupra timpului, inclusiv atitudinea sa diferită față de trecut, prezent şi viitor, pot fi descrise şi (în principiu) explicate în psihologie.

Nu-mi pot imagina la ce se gândea Carnap. Nu cunosc nici o metodă prin care ştiințele psihologiei sau biologiei ar putea să explice experiența noastră asupra timpului într-o lume atemporală.[1] Nici Einstein n-a fost mulțumit de răspunsul lui Carnap, potrivit chiar lui Carnap, care scrie: „Dar Einstein credea că aceste descrieri ştiințifice nu pot cu nici un chip satisface nevoile noastre umane; că există ceva esențial în privința lui Acum care e pur şi simplu în afara ştiinței.“[2]

Nemulțumirea lui Einstein se reduce la o idee simplă. O teorie ştiințifică, pentru a avea succes, trebuie să explice observațiile noastre asupra naturii. Iar cea mai simplă observație pe care o facem este că natura e organizată în timp. Dacă ştiința trebuie să spună o poveste care să cuprindă şi să explice tot ce observăm în natură, aceasta nu ar trebui să includă experiența noastră asupra lumii ca o curgere a momentelor? Faptul esențial privind modul cum e structurată experiența nu este oare o parte a naturii pe care o teorie fundamentală a fizicii s-ar cuveni s-o încorporeze?

Tot ce percepem, fiecare gând, impresie, acțiune, intenție, este parte a unui moment. Lumea ni se prezintă ca o serie de momente. În privința aceasta nu avem nici o opțiune. Nici o opțiune asupra momentului în care existăm acum, nici o opțiune dacă să mergem înainte sau înapoi în timp. Nici o opțiune de a sări înainte. Nici o opțiune asupra vitezei de curgere a momentelor. Sub acest aspect, timpul e complet diferit de spațiu. Am putea obiecta spunând că, în mod asemănător, toate evenimentele au loc într-un anumit loc. Dar putem alege unde să ne deplasăm în spațiu. Aceasta nu e o deosebire mică; ea modelează întreaga noastră experiență.

Einstein şi Carnap sunt de acord într-o privință: faptul că percepem natura ca pe o serie de momente prezente nu face parte din perspectiva fizicienilor asupra naturii. Viitorul fizicii – şi, am putea adăuga, fizica viitorului – se reduce la o alegere simplă. Suntem de acord cu Carnap că momentul prezent nu-şi are locul în ştiință, sau urmăm instinctul celei mai mari intuiții ştiințifice a secolului XX şi încercăm să găsim o cale către o nouă ştiință în care „resemnarea dureroasă“ a lui Einstein nu va fi necesară?

Pentru Einstein, momentul prezent este real şi într-un fel sau altul trebuie să facă parte dintr-o descriere obiectivă a realității. El crede (potrivit lui Carnap) că „*există ceva esențial în privința lui Acum care pur şi simplu se află în afara domeniului ştiinței*“.

Au trecut peste şaizeci de ani de la acea conversație. De atunci am învățat foarte multe despre fizică şi cosmologie. Destul pentru a-l aduce pe Acum, în sfârşit, în descrierea naturii de către fizicieni. În această a doua parte a cărții, voi explica de ce cunoaşterea noastră actuală necesită reintroducerea timpului ca un concept central în fizică.

În partea I, am schițat nouă paşi în eliminarea timpului din perspectiva

fizicienilor asupra naturii, începând cu descoperirile lui Galilei despre corpurile în cădere şi până la cosmologia cuantică atemporală a lui Julian Barbour. Curând vom vedea timpul renăscut, dar mai întâi trebuie să demontăm argumentele aparent solide prezentate în prima parte.

Cele nouă argumente se încadrează în trei categorii:

Argumente newtoniene (adică argumente care provin din fizica lui Newton, sau din paradigma lui Newton de a face fizică):

· Încremenirea mişcării prin înregistrarea grafică a observațiilor din trecut
· Inventarea spațiului atemporal al configurațiilor
· Paradigma newtoniană
· Argumentul în favoarea determinismului
· Reversibilitatea temporală

Argumente einsteiniene, provenite din teoriile relativității restrânsă şi generală:

· Relativitatea simultaneității
· Imaginea universului-bloc a spațiului-timp
· Începutul timpului la big bang

Argumente cosmologice, provenite din extinderea fizicii asupra întregului univers:

· Cosmologia cuantică şi sfârşitul timpului

Aceste nouă argumente duc la o viziune asupra naturii care neagă realitatea momentului prezent şi în schimb vorbeşte despre natură în termenii imaginii universului-bloc, în care reală este doar întreaga istorie a lumii luată în ansamblu. În imaginea aceasta, timpul e tratat ca o dimensiune a spațiului, astfel încât cauzalitatea în timp poate fi înlocuită prin inferență logică atemporală. Poate că relativitatea generală şi mecanica newtoniană vorbesc despre istorii care evoluează în timp, dar este un timp în sens diluat, doar de ordine matematică, privat de în-ființarea momentelor prezente. În teoriile acestea, timpul nu este real în sensul pe care l-am definit în prefață atunci când am afirmat că tot ce este real e astfel într-un moment de timp. Pentru a sublinia contrastul voi numi atemporale asemenea teorii.

Este eliminarea timpului prețul care trebuie plătit pentru progresul ştiinței? Pasul următor în călătoria noastră e să dezvăluim deficiențele acestor argumente.

Toate cele nouă argumente sunt victimele aceleiaşi erori: că paradigma newtoniană – care presupune că putem prezice starea viitoare a oricărui sistem din condițiile sale inițiale şi din legile care acționează asupra lui – poate fi extinsă pentru a alcătui o teorie a universului. Dar, aşa cum voi arăta de îndată, nici o extensie a paradigmei newtoniene nu poate să ofere o teorie acceptabilă a întregului univers. Deşi e o metodă eficientă atunci când este aplicată fizicii într-o cutie, ea devine neputincioasă în confruntarea cu problemele cosmologice.

Cele mai puternice argumente pentru eliminarea timpului provin din teoria relativității. În capitolul 14 le vom demonta. Odată ce am demontat pledoaria pentru eliminarea timpului, vom examina ce au de câştigat fizica şi cosmologia din ipoteza că timpul este real.

8. Eroarea cosmologică

În partea I am urmat calea misticului, încercând să transcendem experiența noastră limitată în timp şi să descoperim adevăruri eterne. În particular, am atribuit marele succes al fizicii utilizării unei metode, paradigma newtoniană. Am văzut că succesul acesta a avut un preț: eliminarea timpului din perspectiva fizicienilor asupra naturii.

În partea a II-a, vom vedea de ce prețul nu trebuie plătit, fiindcă încercarea de a aplica paradigma newtoniană universului în ansamblu e o sarcină imposibilă. Pentru a extinde ştiința la o înțelegere a întregului univers, avem nevoie de o teorie nouă, în care realitatea timpului să fie un element central.

Să ne întoarcem la începuturile ştiinței, la cel care a fost numit primul om de ştiință, filozoful presocratic Anaximandru (610–546 î.Cr.). După cum se arată într-o carte recentă a lui Carlo Rovelli, Anaximandru a fost primul care a căutat cauzele fenomenelor naturale în natura însăşi, iar nu în voința capricioasă a zeilor.[1]

În acele vremuri, chiar şi oamenii cei mai inteligenți se considerau locuitorii unui univers delimitat de două medii plate. Dedesubtul picioarelor se afla Pământul, întinzându-se de jur împrejur în toate direcțiile. Deasupra capului era cerul. Întregul univers, aşa cum îl înțelegeau ei, era organizat de prezența unei direcții speciale – în jos, direcția în care cad lucrurile. Legea fundamentală a naturii, confirmată de întreaga lor experiență, era că lucrurile cad în jos. Singura excepție era cerul însuşi şi corpurile cereşti fixate acolo.

Când au încercat să extindă această lege de succes asupra universului (Pământul şi cerul), s-au confruntat cu un paradox: dacă tot ce nu e fixat de cer cade în jos, de ce nu cade şi Pământul? Cum tendința de a cădea în jos e universală, Pământul trebuie să aibă ceva dedesubt pe care se sprijină – o asemenea propunere a fost că Pământul stă pe spatele unei țestoase uriaşe. Dar atunci, pe ce se sprijină acea țestoasă? Ar putea fi un şir infinit de „țestoase până jos“?

Anaximandru şi-a dat seama că era nevoie de o revoluție conceptuală pentru a alcătui o teorie valabilă a universului care să evite *reductio ad absurdum* a unui turn infinit de țestoase. El a propus o idee evidentă pentru

noi, dar şocantă în vremea lui – că „în jos“ nu este o direcție universală, ci doar direcția spre Pământ. Modul corect de a enunța legea nu este că lucrurile cad în jos, ci că lucrurile cad spre Pământ. Aceasta va face posibilă o altă revoluție – descoperirea că Pământul nu e plat, ci rotund. Anaximandru nu a făcut el însuşi pasul acesta amețitor, dar redefinirea noțiunii de „jos“ i-a permis să vadă Pământul ca pe un corp plutind în spațiu. Astfel, el a putut propune ideea uimitoare că cerul se extinde de jur împrejurul Pământului – dedesubtul picioarelor la fel ca deasupra capului.

Intuiția aceasta a simplificat foarte mult cosmologia din acea vreme, întrucât faptul că Soarele, Luna şi stelele răsar la est şi apun la vest putea fi înțeles ca datorându-se unei rotații zilnice a cerului. Nu mai era nevoie ca Soarele să fie recreat în fiecare dimineață la est şi distrus în fiecare seară după ce apunea la vest; după apus, Soarele se întorcea în punctul său de pornire urmând un traseu aflat sub picioarele noastre. Imaginați-vă euforia de a înțelege lucrul acesta pentru prima oară! Dispărea astfel o mare sursă de anxietate pentru antici – că oricare ar fi spiritul responsabil pentru crearea Soarelui în fiecare dimineață, el ar putea să adoarmă sau să-şi

părăsească postul. Revoluția lui Anaximandru a fost poate mai mare decât cea a lui Copernic, pentru că redefinirea noțiunii de „jos“ a eliminat necesitatea de a explica pe ce se sprijină Pământul.

Filozofii care au încercat să înțeleagă pe ce se sprijină Pământul au comis o eroare simplă – ei au luat o lege care se aplică local şi au aplicat-o întregului univers. Universul lor era Pământul şi cerul, al nostru este un cosmos vast plin cu galaxii, dar confuzia speculației cosmologice actuale se datorează în mare parte aceleiaşi erori. Şi totuşi nimic nu pare mai firesc, căci dacă o lege e universală, de ce nu s-ar aplica universului? Rămâne o mare tentație să luăm o lege sau un principiu pe care îl putem aplica cu succes tuturor subsistemelor lumii şi să-l aplicăm întregului univers. A proceda astfel înseamnă a comite o eroare pe care o voi numi *eroarea cosmologică*.

Universul este o entitate calitativ diferită de oricare dintre părțile sale. El nu e pur şi simplu suma părților sale. În fizică, toate proprietățile obiectelor din univers sunt înțelese în termenii relațiilor sau interacțiunilor cu alte obiecte. Dar universul

este suma tuturor acelor relații, şi, ca atare, nu poate avea proprietăți definite prin relații cu o altă entitate similară.

Aşadar, în universul lui Anaximandru Pământul e singurul lucru care nu cade, fiindcă este lucrul către care cad obiectele. În mod asemănător, universul nostru e singurul lucru care nu poate fi produs sau explicat de ceva exterior lui, fiindcă este suma tuturor cauzelor.

Dacă analogia dintre perioada prezentă şi ştiința greacă antică e oportună, din extinderea unor legi valabile la scară mică asupra întregului univers vor rezulta paradoxuri şi întrebări fără răspuns. Acestea într-adevăr există. Noi, în epoca noastră, suntem conduşi de credința în paradigma newtoniană la două întrebări simple, la care nici o teorie bazată pe acea paradigmă nu va fi vreodată capabilă să răspundă:

· *De ce legile acestea?* De ce universul este guvernat de un anumit set de legi? Ce a selectat legile actuale din alte legi care ar fi putut guverna lumea?

· Universul începe la big bang cu un anumit set de condiții inițiale. *De ce aceste condiții inițiale?* Legile odată fixate, există un număr infinit de condiții

inițiale cu care universul ar fi putut începe. Ce mecanism a selectat condițiile inițiale actuale din setul infinit de posibilități?

Paradigma newtoniană nu poate nici măcar începe să răspundă la aceste două întrebări enorme, fiindcă legile şi condițiile inițiale sunt datele sale de intrare. Dacă fizica e formulată în contextul paradigmei newtoniene, aceste întrebări importante vor rămâne mistere pentru totdeauna.

Credeam că ştim cum se va răspunde la întrebarea *De ce legile acestea?*. Mulți teoreticieni credeau că o singură teorie consistentă matematic poate să încorporeze cele patru forțe fundamentale ale naturii – electromagnetism, forțele nucleare tare şi slabă şi gravitația – în teoria cuantică. În cazul acesta, răspunsul la întrebarea *De ce legile acestea?* ar fi fost că numai o singură lege posibilă a fizicii putea da naştere unei lumi aproximativ asemănătoare cu a noastră.

Dar speranța aceasta s-a năruit. Avem acum dovezi temeinice că nu există o unică teorie care să încorporeze tot ce ştim despre natură – în esență, o teorie care să reconcilieze relativitatea generală şi mecanica cuantică. În ultimii treizeci de ani

s-au făcut numeroase progrese în mai multe abordări diferite ale gravitației cuantice, şi ele au dus la concluzia că în măsura în care fiecare reuşeşte, o face într-un mod care nu este deloc unic. Abordarea cea mai bine studiată este gravitația cuantică cu bucle, şi ea pare să permită o gamă largă de opțiuni pentru particule elementare şi forțe.[8]

Acelaşi lucru e valabil pentru teoria corzilor, care de asemenea promite o unificare a gravitației cu teoria cuantică.[9] Sunt dovezi că există un număr infinit de teorii ale corzilor, dintre care multe depind de un set considerabil de parametri – numere care pot fi ajustate empiric la orice valoare dorim. Toate aceste teorii par la fel de coerente matematic. Multe dintre ele descriu lumi cu un spectru al particulelor elementare şi al forțelor aproximativ asemănător cu a noastră, deşi, cel puțin până acum, nu a fost elaborată nici o teorie a corzilor care să includă cu precizie Modelul Standard al fizicii particulelor.

Speranța inițială a teoriei corzilor fusese că va exista o teorie fundamentală unică ce va reproduce exact Modelul Standard şi va oferi predicții clare pentru observații dincolo de acesta. În 1986, Andrew Strominger a descoperit că teoria corzilor are un număr

enorm de versiuni, ucigând această speranță.[2] Asta m-a îndemnat să mă întreb cum şi-a selectat universul legile – iar în cele din urmă m-a determinat să accept realitatea timpului.

Atât despre întrebările fără răspuns. Ce putem spune despre dileme?[3] Întâmplarea face că una importantă se află în centrul noțiunii uzuale de lege a fizicii, aşa cum e exprimată de paradigma newtoniană. Atunci când numim ceva „lege“, înțelegem că se aplică în multe cazuri; dacă s-ar aplica într-un singur caz, ar fi doar o observație. Dar orice aplicare a unei legi la oricare parte a universului implică o aproximație, aşa cum am văzut în capitolul 4, fiindcă trebuie să neglijăm toate interacțiunile dintre acea parte şi restul universului. De aceea numeroasele aplicații ale unei legi a naturii care sunt verificabile sunt toate aproximații.

Pentru a aplica o lege a naturii fără aproximații, trebuie s-o aplicăm întregului univers. Dar există un singur univers, iar un singur caz nu oferă suficiente dovezi pentru a justifica afirmația că o anumită lege a naturii e valabilă. Aceasta s-ar putea numi dilema cosmologică.

Dilema cosmologică nu trebuie să ne împiedice să aplicăm legi ale naturii – precum relativitatea generală sau legile

mişcării ale lui Newton – unor subsisteme ale universului. Ele funcționează în practic toate cazurile, şi de aceea le numim legi. Dar fiecare asemenea aplicare este o aproximație bazată pe ficțiunea de a trata un subsistem al universului ca şi cum ar fi tot ce există.[4] Ea nici nu ne împiedică să ne imaginăm că istoria universului nostru este o soluție la o lege precum relativitatea generală, materia fiind descrisă de Modelul Standard. Dar ea nu explică de ce a fost aleasă acea soluție ca singura care se realizează în natură. Iar o singură soluție nu demonstrează că legile existente ale naturii sunt o combinație între relativitatea generală şi Modelul Standard, pentru că acea unică soluție poate aproxima soluțiile multor legi diferite.[5]

Iată un exemplu care ilustrează de ce o lege trebuie să poată fi verificată în mai multe cazuri pentru a se distinge de simpla observație. O familie are un copil, Mira, căreia îi place înghețata. Preferata ei este înghețata cu ciocolată – de fapt, prima înghețată pe care a gustat-o vreodată a fost cu ciocolată, şi de atunci a rămas preferata ei.

Părinții Mirei cred că există o lege generală că tuturor copiilor le place înghețata. Dar fără să observe nici un alt copil, ei n-au nici o posibilitate să verifice

legea asta, nici o posibilitate s-o distingă de observația lor, anume că Mirei îi place înghețata. Tatăl Mirei mai crede şi într-o altă lege, anume că toți copiii preferă înghețata cu ciocolată. În timp ce părinții se relaxează la un pahar după ce Mira s-a culcat, mama ei propune încă o ipoteză: toți copiii preferă tipul de înghețată pe care îl gustă prima oară.

Ambele posibilități sunt compatibile cu dovezile de care dispun. Ei fac diferite predicții, care pot fi verificate discutând cu alți părinți pe terenul de joacă, aşadar ambele sunt legi posibile. Dar să presupunem că Mira e singurul copil care există. Nu va exista nici o posibilitate de a verifica dacă ipotezele părinților ei sunt legi generale sau doar observații.

Părinții Mirei ar putea susține, pe baza biologiei umane, că copiilor le va plăcea tot ce e făcut din zahăr şi lapte, iar asta validează cel puțin una dintre predicțiile lor. Ei ar avea dreptate, dar raționamentul lor foloseşte cunoştințe dobândite din studierea multor oameni. Aici analogia încetează, pentru că în cosmologie există realmente un singur caz. Într-un argument ştiințific, nu se poate presupune că universul e un caz

individual dintr-o clasă mai generală, pentru că nici o aserțiune despre caracteristicile acelei clase nu poate fi verificată.

Cerința ca legile care se aplică subsistemelor să fie aproximative este centrală pentru dilema cosmologică, aşa încât permiteți-mi să abandonez înghețata şi să dau un exemplu simplu, în acest sens, din fizică. Prima lege newtoniană a mişcării afirmă că toate particulele libere se mişcă în linie dreaptă. Ea a fost verificată şi confirmată în numeroase cazuri. Dar fiecare test implică o aproximație, pentru că nici o particulă nu este cu adevărat liberă. Orice particulă din universul nostru simte o forță gravitațională din partea tuturor celorlalte. Dacă am vrea să verificăm legea exact, nu ar exista nici un caz căreia s-o aplicăm.

Prima lege a lui Newton poate fi, în cel mai bun caz, o aproximație a unei legi mai exacte. Într-adevăr, ea aproximează legea a doua a lui Newton, care descrie cum e influențată mişcarea unei particule de forțele care acționează asupra ei. Iată însă ceva foarte interesant. Fiecare particulă din univers le atrage gravitațional pe toate celelalte. Există, de asemenea, forțe între oricare două particule încărcate electric. O puzderie de forțe de care trebuie ținut seama.

Pentru a verifica dacă legea a doua a lui Newton este valabilă exact, ar trebui să însumăm mai mult de 10^{80} forțe pentru a prezice mişcarea unei singure particule din univers.

În practică, bineînțeles, nu procedăm astfel. Luăm în calcul doar una sau câteva forțe exercitate de corpurile din apropiere, şi le ignorăm pe toate celelalte. În cazul gravitației, de exemplu, putem justifica neglijarea forțelor exercitate de corpurile îndepărtate deoarece influențele lor sunt mai slabe. (Asta nu e atât de evident pe cât pare, fiindcă deşi forțele exercitate de particulele îndepărtate sunt mai slabe, mult mai multe sunt particulele îndepărtate decât cele apropiate.) Oricum, nimeni nu încearcă vreodată să verifice dacă legea a doua e *riguros* adevărată. Verificăm doar aproximații extreme ale sale.

O altă mare problemă cu extrapolarea noțiunii newtoniene de „lege“ asupra întregului univers este că există un singur univers, dar o infinitate de opțiuni pentru condițiile inițiale. Acestea corespund unui număr infinit de soluții ale ecuațiilor unei presupuse legi cosmologice – soluții care descriu o mulțime infinită de universuri posibile. Dar există un singur univers real.

Însuşi faptul că o lege are o infinitate de soluții posibile care descriu o infinitate de istorii posibile ne obligă să conchidem că menirea ei este să fie aplicată unor subsisteme ale universului care, în natură, există într-un număr enorm de versiuni. Abundenței naturii îi corespunde abundența soluțiilor. Prin urmare, atunci când aplicăm o lege unui mic subsistem al universului, libertatea de a preciza condițiile inițiale este o componentă necesară a succesului legii.

În mod similar, atunci când aplicăm o lege care are o infinitate de soluții unui sistem unic, precum universul, lăsăm foarte multe lucruri neexplicate. Libertatea de a alege condițiile inițiale se transformă dintr-un avantaj într-un obstacol, fiindcă înseamnă că există întrebări esențiale despre universul unic la care teoria (exprimată de acea lege) nu dă nici un răspuns. Acestea includ orice trăsături ale universului care depind de condițiile sale inițiale.

Ce să credem despre toate celelalte istorii care sunt de asemenea soluții ale presupusei legi cosmologice, dar pe care universul nu le urmează? De ce vasta extravaganță a unei infinități de soluții, dintre care cel mult una poate avea legătură cu natura?

Aceste considerații duc la o singură concluzie: greşim cu privire la ce înseamnă o lege a naturii la scară cosmologică. Din trei motive:

(1) Afirmația că o lege se aplică la o scară cosmologică implică o cantitate enormă de informații despre predicții referitoare la cazuri inexistente – adică alte universuri. Asta sugerează că ceva mult mai slab decât o lege ar putea explica universul. Nu avem nevoie de o explicație atât de extravagantă încât să facă predicții despre o infinitate de cazuri care nu apar niciodată. O explicație care să justifice numai ce se întâmplă în realitate în singurul nostru univers ar fi de ajuns.
(2) Tipul obişnuit de lege nu poate să explice de ce soluția care descrie universul nostru este cea pe care o vedem.
(3) Legea nu se poate autojustifica. Ea nu oferă nici un motiv care să explice de ce ea, şi nu o altă lege, este valabilă.

Prin urmare, o lege convențională a naturii, aplicată universului, explică în acelaşi timp mult prea mult şi nici pe departe suficient.

Singura cale de a evita aceste dileme şi paradoxuri e să căutăm o metodologie care să depăşească paradigma newtoniană – o

nouă paradigmă, aplicabilă fizicii la scara universului. Dacă nu cumva suntem mulțumiți să lăsăm fizica să sfârşească în iraționalitate şi misticism, metoda care a stat la baza succesului său de până acum trebuie înlocuită.

Dar toate argumentele pentru eliminarea timpului din fizică expuse în partea I se bazau pe presupunerea că paradigma newtoniană poate fi extinsă asupra întregului univers. În caz contrar, acele argumente cad. Ele trebuie abandonate odată cu paradigma newtoniană, şi atunci devine posibil să credem că timpul este real.

Putem avea mai mult succes în elaborarea unei adevărate teorii cosmologice dacă acceptăm realitatea timpului? În capitolele următoare voi explica de ce răspunsul e afirmativ.

---

8. Pentru o prezentare a gravitației cuantice cu bucle, vezi Carlo Rovelli, *Realitatea nu e ceea ce pare. Structura fundamentală a lucrurilor* (Humanitas, Bucureşti, 2022) (n. red.).

9. Pentru o prezentare a teoriei corzilor, vezi Brian Greene, *Universul elegant. Supercorzi, dimensiuni ascunse şi căutarea teoriei ultime* (Humanitas, Bucureşti, 2022). Pentru o interpretare a multitudinii soluțiilor din teoria

corzilor, vezi Leonard Susskind, *Peisajul cosmic. Teoria corzilor şi iluzia unui plan inteligent* (Humanitas, Bucureşti, 2017) (n. red.).

9. Provocarea cosmologică

Marile teorii ale fizicii secolului XX – relativitatea, teoria cuantică şi Modelul Standard – reprezintă cele mai înalte realizări ale ştiinței fizice. Ele au expresii matematice frumoase din care rezultă predicții exacte pentru experimente, care au fost confirmate în multe cazuri cu mare precizie. Eu însă tocmai am arătat că nimic pe linia acestor teorii nu poate servi drept teorie fundamentală. Aceasta e o afirmatie îndrăzneață în lumina succesului lor.

Pentru a-mi susține afirmația, pot indica o trăsătură comună tuturor teoriilor consacrate ale fizicii, şi care face dificilă extinderea lor asupra întregului univers: fiecare divide lumea în două părți, una care se schimbă în timp şi o a doua presupusă fixă şi imuabilă. Prima parte e sistemul studiat, ale cărui grade de libertate[10] se modifică în timp. A doua parte e restul universului; o putem numi fundalul.

Partea a doua nu poate fi descrisă explicit, dar e prezentă implicit în termenii care dau sens mişcării descrise în prima parte. O

măsurare a distanței se referă în mod implicit la punctele fixe şi riglele necesare pentru a măsura acea distanță; specificarea timpului implică existența unui ceas exterior sistemului, care măsoară timpul.

Aşa cum am văzut în jocul cu mingea din capitolul 3, poziția mingii capătă sens prin raportare la locul unde se află Danny. Mişcarea e definită folosind un ceas, care se presupune că ticăie în ritm constant. Atât Danny, cât şi ceasul sunt în exteriorul sistemului descris de spațiul configurațiilor şi se presupune că sunt statici. Fără aceste puncte de referință fixe, nu am şti cum să facem legătura între predicțiile teoriei şi datele experimentale.

Această divizare a lumii într-o parte dinamică şi una statică este o ficțiune, dar una extrem de utilă când e vorba să descriem părți mici ale universului. A doua parte, presupusă a fi statică, constă în realitate din alte entități dinamice exterioare sistemului analizat. Ignorându-le dinamica şi evoluția, creăm un cadru în care descoperim legi simple.

Pentru majoritatea teoriilor, cu excepția relativității generale, fundalul fixat include geometria spațiului şi a timpului. El include de asemenea selecția legilor, fiindcă acestea

se presupune că sunt neschimbătoare. Chiar şi relativitatea generală, care descrie o geometrie dinamică, presupune alte structuri fixe, precum topologia şi dimensiunea spațiului.[1]

Această divizare a lumii – într-o parte dinamică şi un fundal care o înconjoară şi defineşte termenii în care o descriem – contribuie la genialitatea paradigmei newtoniene. Dar totodată ea face paradigma inadecvată pentru aplicarea la întregul univers.

Provocarea cu care ne confruntăm atunci când extindem ştiința la o teorie asupra întregului univers este că nu poate exista o parte statică, fiindcă totul în univers se schimbă şi nu există nimic în afara lui – nimic care să poată servi drept fundal în raport cu care să măsurăm mişcarea restului. Inventarea unei modalități de a depăşi această barieră s-ar putea numi *provocarea cosmologică*.

Provocarea cosmologică ne cere să formulăm o teorie care poate fi aplicată în mod semnificativ întregului univers. Trebuie să fie o teorie în care fiecare actor dinamic e definit doar în termenii altor actori dinamici. O asemenea teorie nu are nevoie, şi nici loc

pentru un fundal fixat; spunem despre asemenea teorii că sunt independente de fundal.[2]

Putem vedea acum că dilema cosmologică e încorporată în structura paradigmei newtoniene, deoarece înseşi trăsăturile responsabile pentru succesul la scări mai mici – inclusiv dependența de fundaluri fixate şi faptul că o singură lege are o infinitate de soluții – devin motivul eşecului paradigmei ca bază pentru o teorie cosmologică.

Avem şansa să trăim într-o vreme în care succesul fizicii a dus la primele încercări de a studia cosmologia în mod ştiințific. Nu e surprinzător că un răspuns la dilema cosmologică este de a postula că universul nostru este unul dintr-o mulțime vastă, având în vedere că toate teoriile noastre pot fi aplicate doar unei părți dintr-un sistem considerabil mai mare. În orice caz, aşa îmi explic eu atractivitatea diverselor scenarii de multivers.

*

Atunci când efectuăm un experiment în laborator, controlăm condițiile inițiale. Le variem pentru a testa ipoteze despre legi. Dar când e vorba de observațiile cosmologice,

condițiile inițiale au fost stabilite în universul timpuriu, de aceea trebuie să facem ipoteze privind natura lor. Astfel, pentru a explica rezultatul unei observații cosmologice folosind paradigma newtoniană, facem *două* ipoteze: presupunem care au fost condițiile inițiale *şi* ce legi au acționat asupra lor. Aceasta ne pune într-o situație mult mai dificilă decât contextul obişnuit al fizicii într-o cutie, în care folosim controlul pe care îl avem asupra condițiilor inițiale pentru a testa ipoteze despre legi.

Faptul că trebuie să testăm simultan ipoteze asupra legilor şi a condițiilor inițiale reduce considerabil precizia fiecărui test în parte. Dacă facem o predicție, iar observația o contrazice, sunt două moduri de a corecta teoria: putem modifica ipotezele cu privire la legi, sau pe cele cu privire la condițiile inițiale. Fiecare poate să afecteze rezultatele experimentului.

Apare astfel o nouă problemă, căci de unde ştim care din cele două ipoteze trebuie corectată? Dacă observația se referă la o mică parte a universului, precum o stea sau o galaxie, ne bazăm testarea legii pe analiza unui număr mare de cazuri. Toate au fost supuse aceleiaşi legi, prin urmare orice deosebiri între ele trebuie puse în seama

deosebirilor dintre condițiile lor inițiale. Dar în ce priveşte universul, nu putem distinge efectele schimbării ipotezelor asupra unei legi de efectele schimbării ipotezelor asupra condițiilor inițiale.

Uneori problema aceasta stânjeneşte cercetarea cosmologică. Un test important al teoriilor privind universul timpuriu constă în a explica tiparele observate în fondul cosmic de microunde [CMB, *Cosmic Microwave Background*]. Acesta e o radiație rămasă din universul timpuriu care ne oferă un instantaneu al condițiilor la aproximativ 400 000 de ani după big bang. O propunere mult studiată este inflația cosmologică, care postulează că foarte devreme în istoria sa universul a suferit o expansiune colosală şi rapidă. Aceasta a întins şi a atenuat trăsăturile sale inițiale, oricare vor fi fost ele, şi a dus la universul mare, relativ uniform, pe care îl observăm în prezent. Inflația prezice de asemenea tipare în CMB foarte asemănătoare cu ce se vede.

În urmă cu câțiva ani, observatorii au raportat dovezi despre o nouă trăsătură a fondului de microunde, non-gaussianitate, care nu e prezisă de teoria obişnuită a inflației.[3] (Nu importă ce este non-gaussianitatea; pentru povestea aceasta

trebuie să ştim doar că este un tipar care e posibil să fi fost observat în CMB şi despre care teoria standard a inflației prezice că nu trebuie să apară.) Avem două opțiuni pentru a explica noua observație: putem să modificăm teoria sau putem să modificăm condițiile inițiale.

Teoria inflației se încadrează în paradigma newtoniană, prin urmare predicțiile sale depind de condițiile inițiale asupra cărora acționează legile. La numai câteva zile după primul articol care a prezentat dovezi pentru non-gaussianitate, au apărut articole care încercau să explice observația. Unele modificau legile, altele modificau condițiile inițiale. Ambele strategii au reuşit să prezică retroactiv pretinsele observații – de fapt, se ştia deja că oricare din strategii va funcționa.[4] Cum se întâmplă de regulă la frontierele ştiinței observaționale, observațiile ulterioare nu au confirmat anunțul inițial. La data când scriu aceste rânduri, încă nu ştim dacă există într-adevăr non-gaussianitate în CMB.[5]

Acesta e un exemplu de caz în care există două metode diferite de a ajusta o teorie conform datelor. Dacă considerăm că legile şi condițiile inițiale sunt descrise de anumiți parametri, există două seturi distincte de valori ale parametrilor care se potrivesc cu

datele observate. Observatorii numesc genul acesta de situație *degenerare*. De regulă, când avem de-a face cu o degenerare facem observații suplimentare pentru a determina care sunt valorile corecte. Dar în cazuri precum CMB, care este relicva unui eveniment petrecut o singură dată, nu vom fi niciodată în stare să înlăturăm degenerarea. Date fiind mai ales limitele preciziei cu care putem măsura CMB, e posibil să nu putem distinge o explicație bazată pe modificarea legilor de una bazată pe modificarea condițiilor inițiale.[6] Dar fără capacitatea de a distinge rolul legilor de cel al condițiilor inițiale, paradigma newtoniană nu mai are puterea să explice cauzele fenomenelor fizice.

*

Suntem pregătiți să răsturnăm aşteptările care au călăuzit fizica de pe vremea lui Newton şi până foarte recent. Cândva, credeam că teorii precum mecanica newtoniană sau mecanica cuantică sunt candidați pentru teorii fundamentale care – în caz de reuşită – ar fi oglinzi perfecte ale lumii naturale, în sensul că oricărui lucru adevărat legat de natură i-ar corespunde un fapt matematic adevărat legat de teorie.

Însăşi structura paradigmei newtoniene, bazată pe legi atemporale acționând asupra unui spațiu al configurațiilor atemporal, s-a crezut că e esențială pentru această oglindire. Eu sugerez că aspirația aceasta a fost o fantezie metafizică menită să ducă inevitabil la dilemele şi confuziile mai sus menționate imediat ce s-a încercat aplicarea paradigmei la întregul univers. Poziția aceasta presupune o reevaluare a statutului teoriilor din cadrul paradigmei newtoniene – de la candidați pentru teorii fundamentale la descrieri aproximative ale unor mici subsisteme ale universului. Este o reevaluare care a avut deja loc printre fizicieni şi constă din două schimbări de perspectivă înrudite:

(1) Toate teoriile cu care operăm, inclusiv Modelul Standard al fizicii particulelor şi relativitatea generală, sunt teorii aproximative, care se aplică unor trunchieri ale naturii ce includ numai o submulțime a gradelor de libertate din univers. Numim *teorie efectivă* o astfel de teorie aproximativă.
(2) În toate experimentele şi observațiile noastre care implică trunchieri ale naturii, înregistrăm valorile unei submulțimi a

gradelor de libertate şi ignorăm restul. Înregistrările rezultate sunt comparate cu predicțiile teoriilor efective.

Prin urmare, succesul de până acum al fizicii se bazează în întregime pe studiul unor trunchieri ale naturii, care sunt modelate de teorii efective. Arta de a face fizică la nivel experimental constă în proiectatea unor experimente pentru a izola şi a studia un mic număr de grade de libertate, ignorând restul universului. Metodologiile teoreticienilor urmăresc inventarea unor teorii efective care să modeleze trunchierile naturii studiate de experimentatori. Niciodată în istoria fizicii nu am fost în stare să comparăm predicțiile unui candidat la o teorie cu adevărat fundamentală – prin care înțeleg o teorie ce nu poate fi considerată efectivă – cu experimentul.

Am să explic puțin mai în detaliu următoarele chestiuni:

Fizica experimentală e studiul unor trunchieri ale naturii.

Un subsistem al universului modelat ca şi cum ar fi singurul lucru din univers, neglijând tot ce se află în exteriorul lui, se numeşte *sistem izolat*. Dar nu trebuie să

uităm că izolarea față de întreg nu este niciodată completă. Aşa cum am observat, în lumea reală există întotdeauna interacțiuni între orice subsistem definibil şi lucruri din exteriorul său. Într-o măsură mai mare sau mai mică, subsistemele universului sunt întotdeauna ceea ce fizicienii numesc *sisteme deschise*. Acestea sunt sisteme mărginite care interacționează cu lucruri aflate dincolo de marginile lor. Aşadar, atunci când facem fizică într-o cutie, aproximăm un sistem deschis cu un sistem izolat.

O mare parte din măiestria fizicii experimentale constă în a transforma sisteme deschise în sisteme (aproximativ) izolate. Niciodată nu putem face asta în mod perfect. În primul rând, măsurătorile efectuate asupra sistemului interferează cu acesta. (Aceasta e o mare problemă în interpretarea mecanicii cuantice; dar deocamdată să rămânem în lumea macroscopică.) Orice experiment este o luptă pentru a extrage datele dorite din prezența inevitabilă a zgomotului provenit din exteriorul sistemului imperfect izolat. Experimentatorii depun mari eforturi pentru a se convinge pe ei înşişi şi a-i convinge pe colegii lor că văd un semnal real care se detaşează de zgomot, şi facem tot posibilul pentru a reduce efectul acestuia din urmă.

Ecranăm experimentele de contaminarea cu vibrații, câmpuri şi radiații din exterior. Pentru multe experimente e suficient, dar unele sunt atât de sensibile încât sunt afectate de zgomotul produs de radiația cosmică ce loveşte detectorii. Pentru o bună izolare a laboratorului de razele cosmice, el poate fi amplasat într-o mină la câțiva kilometri sub pământ; este ceea ce facem pentru a detecta neutrinii solari. Aceasta reduce zgomotul de fond aleatoriu provenit de la alte radiații la valori admisibile, în vreme ce neutrinii continuă să pătrundă. Dar nu există nici o metodă practică de a izola un laborator față de neutrini. Detectorii de neutrini îngropați adânc în gheața de la Polul Sud înregistrează şi neutrini care au intrat pe la Polul Nord şi au traversat tot Pământul.

Chiar dacă am putea construi pereți compacți din plumb cu o grosime astronomică pentru a opri neutrinii, ceva tot ar pătrunde, şi anume gravitația. În principiu, nimic nu poate opri pătrunderea forței gravitației sau împiedica propagarea undelor gravitaționale, prin urmare nimic nu poate fi perfect izolat. Am descoperit acest important aspect în timpul studiilor mele doctorale. Voiam să modelez o cutie care conținea unde gravitaționale ce se reflectau de pereți, dar

modelele mele eşuau unul după altul, deoarece undele gravitaționale treceau prin pereți. Am încercat să măresc din ce în ce mai mult densitatea pereților cutiei, până în punctul când ar reflecta radiația gravitațională, dar modelul a arătat că, înainte să se atingă acel punct, materialul din pereți ar colapsa în găuri negre. După ce mi-am bătut capul o vreme cu problema asta, încercând diverse căi care s-o evite, mi-am dat seama până la urmă că obstacolul pe care nu-l puteam depăşi era el însuşi o descoperire mult mai interesantă decât cea pe care o vizam. Cu ceva eforturi suplimentare, am fost în măsură să arăt, pe baza a doar câteva presupuneri, că nici un perete nu poate ecrana undele gravitaționale.[7] Indiferent din ce material e făcut, sau cât e de gros sau de dens. Pentru a ajunge la această concluzie, a trebuit să presupun doar legile relativității generale, că energia conținută în materie este pozitivă, iar sunetul nu se poate propaga mai repede decât lumina.

Aceasta înseamnă – nu doar în practică, dar şi în principiu – că în natură nu există nici un sistem care să fie izolat de orice influență a restului universului. Concluzia

aceasta merită ridicată la rangul de principiu, pe care îl voi numi *principiul inexistenței sistemelor izolate*.

Mai există şi un alt motiv pentru care modelul unui sistem deschis ca sistem izolat este întotdeauna o aproximație, anume că nu putem anticipa incursiuni distructive aleatorii. Putem măsura, anticipa şi contracara zgomotul. Dar lumea exterioară poate afecta mult mai drastic încercările noastre de a izola sistemul. Un avion s-ar putea prăbuşi peste clădirea care adăposteşte laboratorul, sau un cutremur ar putea s-o avarieze. Un asteroid ar putea ciocni Pământul. Un nor de materie întunecată ar putea să traverseze sistemul solar, perturbând orbita Pământului şi aruncându-ne în Soare.[8] Sau poate că cineva va întrerupe alimentarea cu energie a laboratorului răsucind un comutator în subsol. Lista lucrurilor care s-ar putea întâmpla în universul acesta mare pentru a perturba un experiment în desfăşurare e practic infinită. Atunci când modelăm un experiment ca şi cum ar fi un sistem izolat, excludem toate aceste posibilități din modelul nostru.

Pentru a încorpora orice efect posibil asupra laboratorului din partea lumii exterioare este nevoie de un model al

întregului univers. Nu putem face fizică fără să excludem toate aceste posibilități din modelele şi calculele noastre. Dar excluderea lor înseamnă să ne bazăm fizica, din principiu, pe aproximații.

Teorii efective, dar aproximative.

Toate teoriile importante ale fizicii sunt modele ale trunchierilor naturii produse de experimentatori. Poate că atunci când au fost inventate s-a crezut că sunt teorii fundamentale, dar cu trecerea timpului teoreticienii au ajuns să le interpreteze ca descrieri efective ale unui număr limitat de grade de libertate.

Fizica particulelor oferă un bun exemplu al rolului teoriilor efective. Experimentele de până acum au testat fizica fundamentală doar până la o anumită scară a lungimilor. În prezent aceasta este de aproximativ 10^{-17} centimetri, testată de Marele Accelerator de Hadroni [*Large Hadron Collider*] de la CERN. Asta înseamnă că Modelul Standard al fizicii particulelor, care este în acord cu toate experimentele cunoscute până în prezent, trebuie considerat o aproximație (pe lângă faptul că nu are nimic de spus în

privința gravitației). El ignoră fenomenele deocamdată necunoscute ce ar putea să apară dacă am putea testa distanțe mai scurte.

În fizica cuantică există o relație inversă între scara lungimilor şi energie, datorită principiului de incertitudine. Pentru a sonda la o anumită scară a lungimilor, e nevoie de particule sau radiație având cel puțin o anumită energie. Pentru a coborî la distanțe mai mici, e nevoie de particule cu energie mai mare. Prin urmare, limita inferioară pe scara lungimilor la care am ajuns se bazează pe o limită superioară a energiilor proceselor pe care le-am observat. Dar întrucât energia şi masa sunt acelaşi lucru (potrivit relativității restrânse), asta înseamnă că dacă am sondat doar până la o anumită valoare a energiei, e posibil să ignorăm particule prea masive pentru a fi create în experimentele de ciocnire de până acum. Fenomenele lipsă ar putea include nu doar noi tipuri de particule elementare, ci şi forțe anterior necunoscute. Sau s-ar putea dovedi că principiile fundamentale ale mecanicii cuantice sunt greşite şi au nevoie de modificări pentru a descrie corect fenomene care se ascund la distanțe mai mici şi energii mai mari.

Din cauza acestor probleme spunem că Modelul Standard e o teorie efectivă, compatibilă cu experimentul, dar demnă de încredere numai într-un anumit domeniu.

Noțiunea de teorie efectivă subminează unele idei perimate, de pildă platitudinea că simplitatea şi frumusețea sunt semne distinctive ale adevărului.[11] Fiindcă nu ştim ce s-ar putea ascunde la energii mai înalte, multe ipoteze ale fizicii care depăşesc domeniul ei stabilit sunt coerente cu o teorie efectivă sau alta. Aceste teorii efective au o simplitate intrinsecă, deoarece trebuie să fie coerente cu modul cel mai simplu şi mai elegant în care pot fi extinse în domenii necunoscute. O mare parte din eleganța relativității generale şi a Modelului Standard se explică dacă le înțelegem ca teorii efective. Frumusețea lor e o consecință a faptului că sunt efective şi aproximative. Simplitatea şi frumusețea, aşadar, nu sunt semnele adevărului, ci ale unui model aproximativ, bine construit, al unui domeniu limitat al fenomenelor.[9]

Noțiunea de teorie efectivă reprezintă o maturizare profesională a teoriei particulelor elementare. Personalitățile noastre tinere şi romantice au visat că dispuneam de legile fundamentale ale naturii. După ce am lucrat

cu Modelul Standard timp de câteva decenii, suntem acum mai încrezători că el este corect în domeniul limitat în care a fost testat, şi totodată mai puțin încrezători că poate fi extins în afara acelui domeniu. Oare aceasta nu seamănă foarte mult cu viața reală? Pe măsură ce îmbătrânim, devenim mai încrezători în privința lucrurilor pe care le cunoaştem cu adevărat, şi totodată ne recunoaştem mai lesne ignoranța în privința celor necunoscute.

Poate părea dezamăgitor. Se presupune că scopul fizicii e să descopere legile fundamentale ale naturii. O teorie efectivă prin definiție nu este aşa ceva. Având o concepție prea naivă asupra ştiinței, ți-ai putea închipui că o teorie nu poate fi în acord cu toate experimentele efectuate până acum, şi în acelaşi timp să fie considerată, în cel mai bun caz, doar o aproximație a adevărului. Conceptul de teorie efectivă e important, pentru că exprimă această distincție subtilă.

El exemplifică de asemenea modul cum înțelegem progresul în fizica particulelor elementare. El ne spune că fizica e un proces de construire a unor teorii aproximative din ce în ce mai bune. Pe măsură ce împingem experimentele către lungimi mai mici şi

energii mai mari, am putea descoperi fenomene noi, iar în cazul acesta vom avea nevoie de un model nou care să le includă. La fel ca Modelul Standard, acesta va fi o teorie efectivă, deşi una aplicabilă într-un domeniu mai larg.

Noțiunea de teorie efectivă presupune că progresul în fizică determină revoluții care schimbă complet baza conceptuală a modului cum înțelegem natura, păstrând în acelaşi timp succesele teoriilor anterioare. Fizica newtoniană poate fi considerată o teorie efectivă, aplicabilă unui domeniu în care vitezele sunt mult mai mici decât cea a luminii, iar efectele cuantice pot fi ignorate. În acel domeniu, ea rămâne la fel de eficientă ca întotdeauna.

Relativitatea generală este un alt exemplu de teorie care a fost cândva un candidat pentru o descriere fundamentală a naturii, dar acum e considerată o teorie efectivă. În primul rând, ea omite domeniul fenomenelor cuantice. Relativitatea generală este, în cel mai bun caz, o aproximație a unei teorii cuantice unificate a naturii, şi poate fi obținută prin trunchierea acelei teorii mai fundamentale.

Probabil că şi mecanica cuantică este o aproximație a unei teorii „mai

fundamentale“. Un indiciu în acest sens e faptul că ecuațiile sunt liniare – ceea ce înseamnă că efectele sunt întotdeauna direct proporționale cu cauzele lor. În toate celelalte exemple în care o ecuație liniară este folosită în fizică, teoria respectivă apare ca o aproximație a unei teorii „mai fundamentale“ (dar tot efectivă) care este neliniară (în sensul că efectele pot fi proporționale cu o putere mai mare a cauzei), şi sunt toate şansele că acest lucru se va dovedi adevărat şi în cazul mecanicii cuantice.

Adevărul este că toate teoriile pe care le-am folosit până acum în fizică sunt teorii efective. O parte din prețul plătit pentru succesul lor a fost înțelegerea faptului că sunt doar aproximații – iată ce trebuie să ne pună pe gânduri.

Poate că încă mai nutrim ambiția de a inventa o teorie fundamentală care să descrie natura fără aproximații. Deopotrivă logica şi istoria ne spun că asta e imposibil atâta vreme cât rămânem în cadrul paradigmei newtoniene. Prin urmare, oricât de admirabile ar fi fizica newtoniană, relativitatea generală, mecanica cuantică şi Modelul Standard, ele nu pot constitui tiparul pentru o teorie cosmologică fundamentală.

Singura cale posibilă către o asemenea teorie este să acceptăm provocarea cosmologică şi să inventăm o teorie care nu e calchiată după paradigma newtoniană şi poate fi aplicată fără aproximații întregului univers.

---

10. Un grad de libertate al unui sistem fizic este o variabilă independentă care descrie starea sistemului (n. red.).

11. Pentru o amplă discuție critică privind rolul frumuseții în fizică, vezi Sabine Hossenfelder, *Rătăciți printre formule. Cum îi derutează frumusețea pe fizicieni* (Humanitas, Bucureşti, 2020) (n. red.).

10. Principii pentru o cosmologie nouă

Începem acum căutarea unei teorii care poate fi cu adevărat o teorie a întregului univers. O asemenea teorie trebuie să evite dilema cosmologică, şi totodată să fie independentă de fundal – să nu presupună o divizare a lumii în două părți, una conținând variabile dinamice care evoluează, iar cealaltă structuri fixe care oferă fundalul ce dă semnificație părților în evoluție. Orice lucru despre care teoria afirmă că face parte din realitate trebuie definit prin relațiile sale cu restul realității, într-un mod care-l face să fie supus schimbării.

Ce trebuie să pretindem unei adevărate teorii cosmologice?

· *Orice nouă teorie trebuie să conțină ceea ce ştim deja despre univers.* Teoriile actuale – Modelul Standard al fizicii particulelor, relativitatea generală şi mecanica cuantică – trebuie să rezulte ca aproximații ale teoriei cosmologice

necunoscute ori de câte ori ne restrângem atenția la dimensiuni şi durate mai mici decât ele ale cosmosului.

· *Noua teorie trebuie să fie ştiințifică.* Explicațiile autentice îşi dovedesc validitatea prin aceea că au nenumărate consecințe neprevăzute. Nu poate fi vorba doar să punem lucrurile laolaltă fiindcă alcătuiesc o poveste frumoasă. O adevărată teorie trebuie să implice anumite predicții testabile.

· *Noua teorie trebuie să răspundă la întrebarea „De ce legile acestea?“*. Ea trebuie să ne permită să înțelegem în profunzime cum şi de ce au fost alese acele particule elementare şi forțe descrise în Modelul Standard. În particular, ea trebuie să explice valorile speciale şi improbabile ale constantelor fundamentale care există în universul nostru – parametrii, precum masele particulelor elementare şi tăriile diferitelor forțe, care sunt specificați de Modelul Standard.

· *Noua teorie trebuie să răspundă la întrebarea „De ce aceste condiții inițiale?“*, explicând de ce universul

nostru are proprietăți ce par neobişnuite în comparație cu alte universuri posibile care ar putea fi descrise de aceleaşi legi.

Acestea sunt cerințe minimale. Dat fiind că vorbim despre o teorie a întregului univers, înțelepciunea colectivă a fizicii, conținută în scrierile marilor gânditori care s-au străduit să inventeze teorii despre lumea naturală – Kepler, Galilei, Newton, Leibniz, Ernst Mach şi Einstein, între alții – sugerează că mai putem formula câteva.[1] Iată cum interpretez eu ce ne-au învățat aceşti înțelepți:

Explicațiile privind caracteristicile universului nostru pe care le oferă o asemenea teorie trebuie să depindă numai de lucruri care există sau se petrec în interiorul universului. Nici un lanț de explicații nu poate recurge la ceva exterior universului. De aceea avem nevoie de un *principiu de închidere explicativă* [*principle of explanatory closure*].

Pentru ca o teorie să fie ştiințifică, nu e necesar ca ea să răspundă cu precizie la orice întrebare, dar trebuie să existe un mare număr de întrebări la care credem că am putea răspunde dacă am cunoaşte mai multe amănunte despre univers. *Principiul rațiunii*

suficiente al lui Leibniz postulează că trebuie să existe un răspuns la orice întrebare rezonabilă de ce universul are o anumită caracteristică. Un test important al unei noi teorii ştiinţifice este dacă ea măreşte numărul întrebărilor la care putem răspunde. Progresul apare atunci când descoperim motive pentru aspecte ale universului pe care teoriile anterioare nu le-au explicat.

Principiul lui Leibniz are câteva consecinţe care impun restricţii unei teorii cosmologice. Una este că nu trebuie să existe nimic în univers care să acţioneze asupra altor lucruri fără a suferi la rându-i nici o acţiune. Toate influenţele sau forţele trebuie să fie reciproce. Putem numi aceasta *principiul inexistenţei acţiunilor fără reacţiune* [*principle of no unreciprocated actions*]. Einstein a invocat acest principiu pentru a justifica înlocuirea teoriei newtoniene a gravitaţiei cu relativitatea generală. Argumentul lui era că spaţiul absolut al lui Newton indică corpurilor cum să se mişte, fără să existe vreo acţiune reciprocă; corpurile din univers nu influenţează spaţiul absolut. Spaţiul absolut există şi atât. În teoria relativităţii generale a lui Einstein, relaţia dintre materie şi geometrie este reciprocă: geometria spune

materiei cum să se mişte, iar materia, la rândul ei, influențează curbura spațiului-timp. Tot astfel, nimic nu poate afecta curgerea timpului absolut al lui Newton. Newton presupune că acesta curge la fel indiferent dacă universul e gol sau plin cu materie. În relativitatea generală, prezența materiei afectează comportamentul ceasurilor.

Prin urmare, acest principiu interzice orice referire la structuri de fundal imuabile – entități ale căror proprietăți sunt fixate pentru totdeauna, indiferent de mişcarea materiei.

Aceste structuri de fundal sunt inconştientul fizicii, modelându-ne pe tăcute gândirea spre a conferi semnificație conceptelor fundamentale pe care le folosim pentru a ne imagina lumea. Credem că ştim ce înseamnă „poziție“ deoarece facem presupuneri inconştiente asupra existenței unui referențial absolut. Mai mulți paşi fundamentali în evoluția fizicii au constat în identificarea unei structuri de fundal fixe, eliminarea şi înlocuirea ei cu o cauză dinamică din interiorul universului. Este ceea ce a făcut Ernst Mach când l-a combătut pe Newton sugerând că atunci când ne învârtim amețim fiindcă ne mişcăm în raport cu materia din univers, iar nu cu spațiul absolut.

Dacă insistăm asupra acțiunii reciproce şi excludem structurile de fundal fixe, susținem de fapt că orice entitate din univers evoluează dinamic, în interacțiune cu tot restul. Aceasta e esența filozofiei relaționalismului, atribuită îndeobşte lui Leibniz (să ne aducem aminte de discuția din capitolul 3 despre semnificația „poziției“). Putem extinde această idee pentru a afirma că într-o teorie cosmologică toate proprietățile trebuie să reflecte relații în evoluție între entități dinamice.[12]

Dar dacă proprietățile unui corp – proprietățile prin care îl identificăm şi îl distingem de alte corpuri – sunt relații cu alte corpuri, înseamnă că nu pot exista două corpuri care să aibă acelaşi set de relații cu restul universului. Două lucruri care au aceleaşi relații cu tot restul universului trebuie să fie în fapt acelaşi lucru. Acesta e un alt principiu al lui Leibniz, numit *identitatea indiscernabilelor*. Şi el este o consecință a principiului rațiunii suficiente, căci dacă există două entități distincte având aceleaşi relații cu restul lumii, nu există nici un motiv ca ele să nu poată fi schimbate între ele. Aceasta ar echivala cu un fapt despre lume fără nici o explicație rațională.

Prin urmare, în natură nu pot exista simetrii fundamentale. O simetrie este o transformare a unui sistem fizic care schimbă între ele părțile acestuia fără să modifice nici una dintre mărimile sale fizice observabile.[2] Un exemplu de simetrie în fizica newtoniană este translația unui subsistem dintr-un loc în spațiu într-altul. Deoarece legile fizicii nu depind de poziția în spațiu a unui sistem, predicțiile sunt neschimbate dacă laboratorul – şi tot ce poate să afecteze rezultatele experimentale – e deplasat cu şase metri spre stânga. Afirmăm independența rezultatelor experimentale de poziția în spațiu spunând că fizica e invariantă în raport cu translațiile în spațiu ale sistemelor.

Simetrii se întâlnesc în toate teoriile fizice cunoscute. Câteva dintre cele mai utile instrumente din trusa de scule a fizicianului profită de prezența lor. Dar dacă principiile lui Leibniz sunt corecte, aceste simetrii nu trebuie să fie fundamentale.

Simetriile apar fiindcă un subsistem al universului e tratat ca şi cum ar fi singurul lucru care există. Numai fiindcă ignorăm interacțiunile între restul universului şi atomii din laborator nu importă dacă deplasăm laboratorul în spațiu. Aceasta explică şi de ce nu importă dacă rotim

sistemul pe care-l studiem: fiindcă ignorăm interacțiunile dintre acel subsistem şi restul universului. Dacă luăm în considerare acele interacțiuni, cu siguranță va conta dacă subsistemul este rotit.

Dar dacă universul însuşi e translatat sau rotit? Oare aceasta nu e o simetrie? Nu este, fiindcă nici o poziție relativă din interiorul universului nu se modifică. Din perspectiva relațională, translația sau rotația universului nu au nici o semnificație. Prin urmare simetriile, ca de pildă translațiile şi rotațiile, nu sunt fundamentale; ele apar din divizarea lumii în două părți, aşa cum am arătat în capitolul precedent. Simetriile acestea şi altele sunt caracteristice doar unor legi aproximative care se aplică subsistemelor universului.

Aceasta are o consecință surprinzătoare: dacă aceste simetrii sunt aproximative, atunci la fel sunt şi legile de conservare a energiei, impulsului şi momentului cinetic. Aceste legi de conservare fundamentale depind de presupunerea că spațiul şi timpul sunt simetrice în raport cu translațiile în timp, translațiile şi rotațiile în spațiu. Legătura dintre simetrii şi legile de conservare este conținutul unei teoreme fundamentale demonstrată la începutul secolului XX de

matematiciana Emmy Noether.[3] Nu voi încerca aici să-i explic raționamentele, dar teorema ei este unul dintre stâlpii de sprijin ai fizicii şi merită să fie mai bine cunoscută.

Ca urmare, teoria cosmologică necunoscută nu va avea simetrii şi nici legi de conservare.[4] Unii fizicieni din domeniul particulelor elementare, impresionați de succesul Modelului Standard, preferă să spună că, cu cât o teorie este „mai fundamentală“, cu atât trebuie să aibă mai multe simetrii. Este exact concluzia greşită.[5]

*

Ajungem acum la cea mai importantă întrebare despre teoria cosmologică necunoscută: ce va avea ea de spus cu privire la natura timpului? Timpul se va dizolva, ca în teoria relativității generale a lui Einstein? Va dispărea, apărând numai atunci când e nevoie, ca în cosmologia cuantică a lui Barbour? Sau va juca un rol esențial, spre deosebire de ce se întâmplă în toate teoriile de la Newton încoace?

Eu cred că timpul este necesar pentru orice teorie care răspunde la întrebarea „De ce legile acestea?“. Pentru ca legile să poată fi explicate, ele trebuie să evolueze. Aceasta a fost poziția susținută de Charles Sanders

Peirce, pe care l-am citat în introducere. Să examinăm din nou acel citat, spre a-i desluşi argumentația. El începe astfel: „A presupune legi universale ale naturii pe care mintea este capabilă să le înțeleagă, dar ale căror forme speciale nu au nici o motivație, ele rămânând inexplicabile şi iraționale, este o poziție greu de justificat.“

Putem înțelege aceasta ca un enunț al principiului rațiunii suficiente al lui Leibniz: trebuie să fim în măsură să spunem de ce legile naturii sunt cele pe care le-am descoperit, şi nu altele. Peirce subliniază din nou aceasta în următoarele două propoziții: „Uniformitățile sunt tocmai genul de fapte care trebuie explicate. […] Legea este prin excelență lucrul care necesită un motiv.“

Aceasta este o formulare a întrebării „De ce legile acestea?“. Faptele cu privire la lume trebuie explicate, iar un fapt care are nevoie stringentă de explicație este de ce se observă că în universul nostru sunt valabile anumite legi.

În continuare el afirmă că „singurul mod posibil de a explica legile naturii, şi uniformitatea în general, este să presupunem că ele sunt rezultatul evoluției“. Este o afirmație puternică. Peirce nu aduce nici un argument pentru concluzia sa că legile

trebuie să evolueze; el pretinde doar că este „singurul mod posibil“ de a răspunde la întrebarea „De ce legile acestea?“. Nu ştiu dacă undeva în voluminoasele sale scrieri şi carnete de notițe el a oferit un argument pentru această concluzie. Iată însă unul pe care l-ar fi putut aduce.

Sarcina noastră este să explicăm de ce un obiect – în cazul de față, universul – are o anumită proprietate: anume, că particulele elementare şi forțele interacționează prin procesele descrise în Modelul Standard al fizicii particulelor. Este o problemă dificilă, deoarece ştim că Modelul Standard, cu parametrii săi specifici, este doar una dintr-un număr enorm de opțiuni posibile pentru legile naturii. Aşadar, cum explicăm de ce o entitate are o anumită proprietate dintr-o mulțime vastă de alternative posibile?

Întrucât există numeroase alternative, nici un principiu nu specifică exact legile pe care le observăm. Dacă nu există nici un motiv necesar pentru alegere înseamnă că trebuie să fie un motiv fără necesitate logică. Poate că sunt, sau au fost, cazuri în care alegerea s-a făcut diferit. Cum explicăm felul în care s-a făcut alegerea în cazul universului nostru?

Dacă într-adevăr există doar un singur caz, atunci niciodată nu vom avea o

explicație suficientă, pentru că, *ipso facto*, nici un principiu logic nu determină alegerea. O explicație suficientă necesită existența unor alte universuri înzestrate de la bun început cu legi. Altfel spus, trebuie să fi existat mai multe evenimente de tipul big bang-ului nostru în care au fost alese legi ale naturii. (Pentru simplitate, presupunem că legile sunt alese în evenimente spectaculoase precum big bang-ul; desigur, nu avem nici o dovadă că legile naturii s-ar fi schimbat de atunci.)

Se pune aşadar întrebarea cum sunt ordonate big bang-urile – evenimentele în care sunt alese legile. Putem invoca acum principiul că universul trebuie să fie închis din punct de vedere explicativ şi cauzal. Cu alte cuvinte, presupunem că universul conține toate lanțurile cauzale necesare pentru a explica orice în interiorul său. Dacă vrem să explicăm cum au fost alese legile efective în big bang-ul nostru, putem invoca doar evenimente anterioare acestuia. Şi putem aplica aceeaşi logică la cauzele alegerii legilor în bang-uri anterioare.[13] Trebuie prin urmare să existe o succesiune de bang-uri extinzându-se infinit de departe în trecut. Să selectăm în mod arbitrar un punct de pornire cu multe bang-uri în urmă şi să

urmărim alegerea legilor începând de atunci. Vom vedea că legile evoluează pe măsură ce ne apropiem de universul nostru actual. Ajungem prin urmare la concluzia lui Peirce că, dacă sperăm să explicăm anumite legi, ele trebuie să fi evoluat.[6]

Bang-urile pot fi exclusiv secvențiale sau se pot ramifica – în viitor, în trecut sau în ambele. Putem construi diferite ipoteze cu privire la ramificații şi la ce anume se întâmplă în aceste evenimente încât modifică legile naturii. În toate aceste cazuri, vom explica alegerea legilor în cel mai recent big bang doar în termenii evenimentelor din trecutul său cauzal. Un scenariu de felul acesta ar putea fi testat experimental; evenimentele dinaintea big bang-ului nostru ar putea fi observabile prin intermediul informației din rămăşițele (dacă există) care au supraviețuit naşterii universului nostru. În capitolele 11 şi 18 vom vedea exemple de predicții făcute cu ajutorul unor teorii care permit ca legile naturii să evolueze înainte de big bang-ul nostru.

Dacă însă big bang-ul nu are trecut, alegerea legilor şi a condițiilor inițiale este arbitrară şi nu vor exista astfel de teste. Nu vor putea fi testate nici scenariile în care există o populație vastă sau infinită de

universuri ale căror big bang-uri sunt deconectate cauzal de al nostru. Într-o cosmologie ştiințifică, postularea unor *universuri paralele*, universuri care nu sunt conectate cauzal cu al nostru, nu ne poate ajuta să explicăm nici o proprietate a propriului nostru univers. Conchidem că singura posibilitate de a avea o teorie cosmologică ştiințifică, în stare să facă predicții falsificabile, este ca legile să fi evoluat în timp. (O predicție a unei teorii este falsficabilă dacă poate fi contrazisă printr-un experiment realizabil.[14])

Roberto Mangabeira Unger se exprimă într-un mod mai elegant.[7] Timpul sau este real, sau nu este real. Dacă timpul nu este real, legile sunt atemporale – dar atunci alegerea legilor e inexplicabilă, din motive pe care deja le-am discutat. Dacă, pe de altă parte, timpul este într-adevăr real, atunci nimic, nici măcar legile, nu poate dura veşnic. Dacă legile naturii acționează veşnic, suntem în paradigma newtoniană, şi le-am putea folosi pentru a reduce orice proprietate a lumii de la un moment ulterior la o proprietate de la un moment anterior. Sau, echivalent, am putea înlocui orice cauzalitate fizică printr-o implicație logică. Aşadar, dacă timpul este real înseamnă că legile nu sunt

veşnice. Ele trebuie să evolueze. Noțiunea de legi atemporale violează de asemenea principiul relațional potrivit căruia nimic în univers nu acționează fără a suferi o reacțiune. Dacă vrem să exceptăm legile naturii de la acest principiu, considerându-le ceva exterior universului, atunci le plasăm în afara domeniului explicației raționale. Pentru a face legile explicabile, trebuie să le considerăm parte a lumii în aceeaşi măsură ca particulele asupra cărora acționează. Aceasta le aduce în orizontul schimbării şi al cauzalității. Ele devin explicabile numai dacă participă la dansul schimbării şi al influențelor reciproce care face ca lumea să fie un întreg.

Deşi nu avem încă o asemenea teorie cosmologică, dacă principiile pe care le-am expus sunt valabile, atunci deja ştim câte ceva despre ea:

· Trebuie să conțină ceea ce ştim deja despre natură, dar ca aproximații.
· Trebuie să fie ştiințifică; altfel spus, trebuie să facă predicții ce pot fi testate prin experimente realizabile.
· Trebuie să rezolve problema „De ce legile acestea?“.

· Trebuie să rezolve problema condițiilor inițiale.
· Nu va postula simetrii, şi nici legi de conservare.
· Trebuie să fie închisă din punct de vedere cauzal şi explicativ. Nimic din afara universului nu trebuie să fie necesar pentru a explica ceva din interiorul său.
· Trebuie să satisfacă principiul rațiunii suficiente, principiul inexistenței acțiunilor fără reacțiune şi principiul identității indiscernabilelor.
· Variabilele sale fizice trebuie să descrie relații în evoluție între entități dinamice. Nu trebuie să existe structuri de fundal fixe, inclusiv legi fixe ale naturii. Prin urmare, legile naturii evoluează, ceea ce presupune că timpul este real.

Principiile sunt foarte bune, dar avem cu adevărat nevoie de ipoteze conducând la teorii care fac predicții testabile. În următoarele câteva capitole voi prezenta câteva exemple de ipoteze şi teorii care satisfac aceste principii, şi vom vedea că ele fac într-adevăr ipoteze testabile.

---

12. Pentru o discuție despre relaționism (interpretarea relațională a mecanicii cuantice),

vezi Carlo Rovelli, *Helgoland. Cum să înțelegem teoria cuantică* (Humanitas, Bucureşti, 2020) (n. red.).

13. Bang („bubuitură“ în engl.) desemnează aici evenimente de tipul big bang-ului, pentru a le deosebi de big bang-ul din universul nostru (n. red.).

14. Conform filozofului Karl Popper, o teorie ştiințifică nu e verificabilă, pentru că enunțurile ei, universale fiind, nu pot fi verificate în toate situațiile posibile. Condiția ca o teorie să poată accede la statutul de teorie ştiințifică este aceea de a fi testabilă, adică de a conduce la afirmații falsificabile. O teorie care nu-şi asumă riscul de a fi infirmată nu-i o teorie ştiințifică (n. red.).

11. Evoluția legilor

Principalul mesaj al părții a II-a până acum a fost că progresul cosmologiei presupune ca fizica să abandoneze ideea că legile sunt atemporale şi eterne, şi să accepte în schimb că ele evoluează într-un timp real. Tranziția aceasta e necesară pentru a putea ajunge la o teorie cosmologică – una care explică alegerea legilor şi a condițiilor inițiale – care să fie testabilă şi chiar vulnerabilă la falsificarea prin experimente realizabile. După ce (sper) am argumentat lucrul acesta în principiu, în capitolul de față îl voi demonstra comparând capacitatea a două teorii, una atemporală şi una cu legi care evoluează în timp, de a explica şi prezice rezultate observaționale.

Teoria în care legile evoluează se numeşte *selecția naturală cosmologică*, pe care am elaborat-o la finele anilor 1980 şi am publicat-o în 1992.[1] În acel articol am făcut câteva predicții, ce puteau fi infirmate în cele două decenii scurse de atunci, dar nu au fost. Desigur, asta nu dovedeşte că teoria e corectă, dar cel puțin am arătat că o teorie cu

legi care evoluează în timp poate să explice şi să prezică trăsături reale ale lumii noastre. Ca exemplu de teorie atemporală voi lua o versiune a scenariului multivers numită *inflație eternă*, propusă la sfârşitul anilor 1980 de Alexander Vilenkin şi Andrei Linde, şi care de atunci a făcut obiectul a numeroase studii.[2] Inflația eternă are diferite variante, reflectând faptul că unele dintre ipotezele sale sunt ajustabile. Pentru a-mi demonstra teza, am ales o variantă simplă căreia adjectivul „etern“ i se potriveşte cel mai bine, întrucât ea oferă o imagine atemporală a multiversului. Există alte versiuni de multiversuri inflaționare în care timpul joacă un rol mai important, iar în măsura în care implică o noțiune autentică de legi în evoluție, ele împărtăşesc unele aspecte ale selecției naturale cosmologice.

Un motiv pentru care scenariile cosmologice cu legi în evoluție reuşesc să facă predicții reale este că ele nu se bazează pe *principiul antropic* – care afirmă că putem trăi numai într-un univers ale cărui legi şi condiții inițiale creează un mediu prielnic vieții – pentru a face legătura între multivers şi universul pe care-l observăm. Una dintre

sarcinile acestui capitol e să respingă afirmația că principiul antropic poate juca un rol în a face ca o teorie să fie predictivă.

Selecția naturală cosmologică a fost subiectul primei mele cărți, *The Life of the Cosmos*, de aceea o voi prezenta doar cu detaliile necesare pentru a arăta clar de ce evoluția în timp a legilor duce la o explicație falsificabilă a lor.[3]

Ipoteza de bază a selecției naturale cosmologice este că universurile se reproduc prin crearea de noi universuri în interiorul găurilor negre. Aşadar, universul nostru e descendentul unui alt univers, fiind născut într-una dintre găurile negre ale acestuia, iar fiecare gaură neagră din universul nostru e germenele unui nou univers. Acesta e un scenariu în cadrul căruia putem aplica principiile selecției naturale.

Mecanismul selecției naturale pe care-l folosesc se bazează pe metodele biologiei populațiilor, care servesc pentru a explica în ce fel pot fi selectați unii parametri care guvernează un sistem pentru a-l face mai complex decât ar fi altminteri. Aplicarea selecției naturale la un sistem pentru explicarea complexității sale necesită următoarele:

· *Un spațiu pentru parametrii variabili ai unei populații*. În biologie, parametrii aceştia sunt genele. În fizică, sunt constantele Modelului Standard, între care masele diferitelor particule elementare şi tăriile forțelor fundamentale. Parametrii aceştia formează un fel de spațiu al configurațiilor pentru legile naturii – spațiu numit *peisajul teoriilor* [*landscape of theories*] (termen împrumutat din biologia populațiilor, unde spațiul genelor se numeşte *peisajul adaptiv* [*fitness landscape*]).

· *Un mecanism de reproducere*. Adopt o veche idee care mi-a fost propusă de mentorul meu postdoctoral Bryce DeWitt, anume că găurile negre duc la naşterea unor noi universuri. Aceasta e o consecință a ipotezei că gravitația cuantică elimină singularitățile unde timpul începe şi se termină – ipoteză pentru care există dovezi teoretice solide. Universul nostru are o mulțime de găuri negre, cel puțin un miliard de miliarde, ceea ce sugerează o descendență foarte numeroasă. Putem presupune că universul nostru face el însuşi parte dintr-o genealogie care se extinde departe în trecut.

· *Variație*. Selecția naturală funcționează în parte pentru că genele suferă mutații sau se recombină la întâmplare în timpul reproducerii, astfel încât genomurile urmaşilor diferă de ale ambilor părinți. În mod analog, putem presupune că, de fiecare dată când este creat un nou univers, există o mică schimbare aleatorie în parametrii legilor. Putem deci să marcăm în peisaj punctul care corespunde valorilor parametrilor pentru acel univers. Rezultatul e o colecție vastă şi în creştere de puncte din peisaj, reprezentând variații ale parametrilor legilor pe cuprinsul multiversului.

· *Diferențe în valoarea selectivă* [*fitness*]. În biologia populațiilor, valoarea selectivă a unui individ e o măsură a succesului său reproductiv – altfel spus, câți urmaşi produce care prosperă un timp suficient pentru a avea propriii lor descendenți. Valoarea selectivă a unui univers este atunci o măsură a numărului de găuri negre pe care le zămisleşte. Se dovedeşte că numărul acesta depinde în mod critic de parametri. Nu e uşor să creezi o gaură neagră; prin urmare, mulți parametri duc la universuri care nu au deloc găuri negre. Unii parametri duc la universuri care au o

mulțime de găuri negre. Aceste universuri ocupă o regiune foarte mică în spațiul parametrilor. Vom presupune că regiunile acestea extrem de fertile din spațiul parametrilor sunt insule înconjurate de regiuni cu o fertilitate mult mai redusă.

· *Caracter tipic*. Presupunem de asemenea că universul nostru e un membru tipic al populației de universuri, aşa cum este ea după multe generații. Putem aşadar prezice că toate proprietățile comune majorității universurilor sunt şi proprietățile universului nostru.[4]

Puterea selecției naturale ca metodologie permite extragerea unor concluzii ferme din aceste presupuneri minimale. Consecința fundamentală este că după multe generații majoritatea universurilor au parametri în regiunile extrem de fertile. Reiese de aici că, dacă modificăm parametrii unui univers tipic, rezultatul va fi foarte probabil un univers care formează mult mai puține găuri negre. Întrucât universul nostru este tipic, acest lucru trebuie să fie adevărat şi pentru el.

Aceasta e o predicție care poate fi verificată indirect. Ştim deja că multe moduri de a schimba parametrii Modelului Standard

duc la universuri lipsite de stelele longevive necesare pentru a produce carbon şi oxigen. Şi, fapt remarcabil, e nevoie de carbon şi oxigen pentru a răci norii de gaz în care se formează stelele masive ce dau naştere găurilor negre. Alte schimbări ale parametrilor slăbesc supernovele care nu doar că produc găuri negre, dar injectează energie în mediul interstelar – energie care determină colapsul norilor şi formarea de noi stele masive. Cunoaştem deja cel puțin opt moduri de a modifica uşor parametrii Modelului Standard încât să rezulte universuri cu mai puține găuri negre.[5]

Selecția naturală cosmologică oferă aşadar o explicație veritabilă pentru faptul că parametrii Modelului Standard par a fi reglați pentru un univers plin cu stele longevive care de-a lungul timpului au îmbogățit universul cu carbon, oxigen şi alte elemente necesare complexității chimice cu care e binecuvântat universul nostru. Parametrii ale căror valori sunt astfel explicate într-o mai mare sau mai mică măsură includ masele protonului, neutronului, electronului şi neutrinului electronic, şi tăriile celor patru forțe. Există şi o bonificație: deşi explicația vizează

maximizarea producției de găuri negre, o consecință este că face ca universul să fie prielnic vieții.

În plus, ipoteza selecției naturale cosmologice face câteva predicții originale, care sunt falsificabile prin observații realizabile în prezent. Una este că masa stelelor neutronice nu poate depăşi o anumită limită. Ideea aici este că o supernovă lasă în urmă regiunea centrală a stelei explodate. Miezul acesta va colapsa fie într-o stea neutronică, fie într-o gaură neagră. Care din cele două e produsă depinde de masa miezului; o stea neutronică poate exista numai dacă masa ei este inferioară unei anumite valori critice. Dacă selecția naturală cosmologică e corectă, acea valoare critică trebuie reglată cât mai jos posibil, deoarece cu cât e mai joasă, cu atât sunt produse mai multe găuri negre.

Se dovedeşte că există mai multe posibilități pentru compoziția stelelor neutronice. O posibilitate e să fie alcătuită doar din neutroni, caz în care masa critică ar fi destul de mare, între 2,5 şi 2,9 ori masa Soarelui. Dar altă posibilitate este ca miezul unei stele neutronice să conțină particule exotice numite kaoni. Aceasta ar reduce masa critică în comparație cu modelul

exclusiv neutronic. Valoarea acelei reduceri depinde însă de amănuntele modelării teoretice; diversele modele indică o masă critică undeva între 1,6 şi 2 mase solare.

Dacă selecția naturală cosmologică e corectă, ne-am aştepta ca natura să fi profitat de posibilitatea de a forma kaoni în centrul stelelor neutronice pentru a reduce masa critică. Se dovedeşte că aceasta s-ar fi putut realiza reglând masa kaonului la o valoare suficient de mică; asta se poate face fără a afecta ratele de formare a stelelor, prin ajustarea masei cuarcului strange. Când selecția naturală cosmologică a fost propusă pentru prima oară, cele mai masive stele neutronice cunoscute aveau mase mai mici decât 1,5 mase solare. Dar de curând a fost observată o stea neutronică cu o masă de aproape două ori mai mare decât a Soarelui. Aceasta ar infirma selecția naturală cosmologică, dacă masa stelelor neutronice cu kaoni este la limita inferioară a intervalului teoretic, dar teoria ar corespunde *in extremis* dacă răspunsul corect e estimarea teoretică superioară, care de asemenea este dublul masei Soarelui.

Există totuşi o stea neutronică măsurată cu mai puțină precizie, şi a cărei masă e estimată a fi de nu mai puțin de două ori şi

jumătate mai mare decât cea a Soarelui.[6] Dacă acea descoperire va fi confirmată de măsurători mai precise, selecția naturală cosmologică va fi infirmată.[7]

O altă predicție provine din reflecția asupra unei trăsături surprinzătoare a universului timpuriu, care este extrema sa regularitate. Se ştie, din observații ale fondului cosmic de microunde, că distribuția materiei în universul timpuriu a variat doar puțin de la un loc la altul. De ce? De ce universul nu a început cu variații mari ale densității? Dacă ar fi existat variații mari ale densității, regiunile extrem de dense ar fi colapsat numaidecât în găuri negre. În cazul unor variații suficient de mari, aceste aşa-numite găuri negre primordiale ar fi umplut universul timpuriu, ducând la o lume cu mult mai multe găuri negre decât a noastră. Aceasta pare să infirme predicția selecției naturale cosmologice conform căreia nu se poate face o mică schimbare a parametrilor legilor fizicii pentru a crea un univers cu mai multe găuri negre decât al nostru.

Cosmologii descriu variațiile densității materiei cu ajutorul unui parametru numit scara fluctuațiilor de densitate [*scale of density fluctuations*]. Acesta nu e un parametru al Modelului Standard al fizicii

particulelor, dar există modele ale universului timpuriu care au parametri ajustabili care pot mări densitatea fluctuațiilor, şi e rezonabil să ne întrebăm dacă ele sunt incompatibile cu selecția naturală cosmologică. În majoritatea versiunilor inflației, există un parametru care poate fi mărit pentru a ridica nivelul fluctuațiilor de densitate şi a inunda astfel universul cu găuri negre primordiale. Dar în unele dintre modelele inflaționare cele mai simple, creşterea acestui parametru face ca universul să se contracte, limitând drastic timpul în care inflația e posibilă. Rezultatul este un univers mult mai mic, care, deşi plin cu găuri negre primordiale, are în total mult mai puține găuri negre decât al nostru.[8] Asta înseamnă că selecția naturală cosmologică e compatibilă doar cu o teorie simplă a inflației, incapabilă să producă un exces de găuri negre primordiale. Dacă s-ar găsi dovezi că inflația s-a petrecut într-un mod care necesită o teorie mai complexă, selecția naturală cosmologică ar fi eliminată.[9] Inexistența unor asemenea dovezi este, prin urmare, o predicție a selecției naturale cosmologice.

Fireşte, e posibil ca teoria corectă a universului foarte timpuriu să nu fie inflația,

dar exemplul acesta serveşte pentru a arăta că selecția naturală cosmologică e vulnerabilă la invalidare prin descoperirea oricărui mecanism acționând în universul timpuriu care ar fi putut produce multe găuri negre primordiale.[10]

Selecția naturală cosmologică este de neconceput în afara contextului în care timpul e real. Un motiv este că singura supoziție este că universul nostru are doar un avantaj adaptativ relativ în raport cu universuri de care diferă prin mici schimbări ale parametrilor. Aceasta e o condiție foarte slabă. Nu este nevoie să presupunem că parametrii universului nostru sunt cei mai mari posibili; ar putea foarte bine să existe alte alegeri ale parametrilor care să conducă la un univers încă şi mai fertil. Scenariul prezice doar că ele nu pot fi obținute printr-o mică schimbare a valorilor actuale.

Populația de universuri poate fi aşadar diversă, constând dintr-o varietate de specii, fiecare relativ fertilă în comparație cu cele care sunt uşor diferite. Amestecul de tipuri de universuri se va schimba continuu în timp, pe măsură ce noi moduri de a fi fertil sunt descoperite prin încercare şi eşec. Aşa funcționează biologia. Nu există specii adaptate maximal care persistă veşnic; în

schimb, fiecare eră din istoria vieții e caracterizată printr-un amestec diferit de specii, toate adaptate în mod relativ. Viața nu atinge niciodată un echilibru, o stare ideală; ea evoluează necontenit. În mod asemănător, oricare ar fi legile tipice în populația de universuri, ele se vor schimba în timp, pe măsură ce populația evoluează. Dacă ar exista o stare finală – în care, odată atinsă, amestecul de universuri ar rămâne neschimbat –, timpul ar deveni irelevant şi am putea spune că s-a atins un echilibru etern. Dar scenariul selecției naturale nu presupune şi nici nu implică aşa ceva. Timpul este întotdeauna prezent în scenariul selecției naturale cosmologice.

Mai mult, scenariul cere ca timpul să fie deopotrivă universal şi real. Populația de universuri evoluează rapid, crescând de fiecare dată când unul dintre universuri formează o gaură neagră. Pentru a putea deduce predicții din teorie, ea trebuie să stabilească câte universuri au cutare şi cutare proprietăți la un moment de timp oarecare. Timpul acesta trebuie să aibă semnificație nu doar pe tot cuprinsul fiecărui univers, ci pentru întreaga populație. Avem aşadar

nevoie de o noțiune de timp care să ne dea o imagine a simultaneității în fiecare dintre universuri şi pe ansamblul populației.[11]

*

Să comparăm aceasta cu cazul inflației eterne. Se afirmă că universul timpuriu e supus inflației deoarece câmpurile cuantice care-i explică particulele şi forțele se află într-o fază care produce o cantitate foarte mare de energie întunecată. Asta face ca universul să se extindă exponențial de repede. Inflația de regulă se opreşte atunci când se formează o bulă ca rezultat al unei tranziții de fază. Aceasta e analogul unei bule de vapori de apă care apare într-un vas cu apă încălzită; bula conține faza gazoasă a apei, care se formează din faza lichidă. În scenariul cosmologic, bula conține o fază a câmpurilor cuantice fără o cantitate mare de energie întunecată, aşa încât expansiunea ei încetineşte, iar bula devine universul nostru.

Vilenkin şi Linde au observat că mediul înconjurător, care încă mai conține o cantitate mare de energie întunecată, va continua să se dilate rapid. Se formează alte bule, care devin alte universuri, la fel cum s-a întâmplat şi cu universul nostru. Ei au descoperit că în anumite condiții procesul

poate continua veşnic, deoarece mediul care suferă inflația nu dispare nici-odată, deşi produce o infinitate de universuri-bulă. Dacă acest scenariu e corect, atunci universul nostru este unul dintr-un număr infinit de universuri care s-au format ca bule în mediul aflat în inflație eternă.

În versiunea cea mai simplă, pe care o voi adopta pentru scopurile discuției noastre, legile care guvernează fiecare bulă sunt alese la întâmplare dintr-un peisaj de legi posibile.[12] În multe discuții, se presupune că acest peisaj e oferit de diverse teorii ale corzilor[15], dar şi de orice teorie cu parametri variabili, inclusiv de însuşi Modelul Standard.

În cazul cel mai simplu, proporțiile bulelor care aleg fiecare lege sunt constante, aşa încât, pe măsură ce sunt produse tot mai multe universuri-bulă, probabilitățile pentru ca diferite legi să fie valabile în întreaga populație rămân aceleaşi. Într-un asemenea scenariu simplu, timpul şi dinamica nu joacă nici un rol în modul în care sunt specificate legile universului nostru între toate celelalte posibilități (eventual o infinitate). Distribuția universurilor (adică probabilitățile pentru ca universurile să aibă diferite legi sau proprietăți) atinge astfel un fel de echilibru în

care rămâne pentru totdeauna. În acest sens, scenariul e atemporal, ceea ce face din el un bun termen de comparație pentru selecția naturală cosmologică.

Întrucât legile din fiecare bulă sunt alese la întâmplare, universurile cu acel reglaj fin al legilor necesar pentru viață sunt extrem de rare. Prin urmare, universul nostru e un caz atipic în populația de universuri-bulă.

Pentru a face legătura între acest scenariu şi observațiile asupra universului nostru, cosmologii trebuie să recurgă la principiul antropic, care, aşa cum am menționat, afirmă că putem trăi doar într-un univers ale cărui legi şi condiții inițiale creează o lume prielnică vieții. Principiul antropic ne îndrumă să selectăm fracțiunea minusculă de universuri primitoare din colecția incomparabil mai numeroasă a lumilor lipsite de viață, fiindcă ne putem găsi doar în unul din prima categorie.

În mod remarcabil, listele trăsăturilor care fac ca o lume să fie prielnică vieții şi să producă un număr mare de găuri negre au multe elemente comune. Aşa încât cele două teorii – selecția naturală cosmologică şi principiul antropic – par să explice o parte din aceleaşi reglaje fine ale parametrilor Modelului Standard. Să observăm însă cât de

diferite sunt explicațiile. În selecția naturală cosmologică, lumea noastră e un univers tipic, iar majoritatea populației va împărtăşi trăsăturile care conferă unui univers o valoare selectivă mare, pe când în multiversul inflației eterne lumi precum a noastră sunt extrem de rare. În primul caz avem o explicație autentică; în al doilea, doar un principiu de selecție.

Aceste tipuri diferite de explicație se deosebesc prin capacitatea lor de a face predicții autentice privind trăsături ale universului care încă nu au fost observate. După cum am văzut, selecția naturală cosmologică a sugerat deja câteva predicții autentice. Dar scenariile care invocă principiul antropic ca explicație pentru legile şi condițiile inițiale ale universului nostru încă nu au furnizat nici măcar o singură predicție falsificabilă printr-o experiență realizabilă în prezent. Mă îndoiesc că o vor face vreodată.

Iată de ce. Să considerăm o proprietate oarecare a universului nostru pe care dorim s-o explicăm. Proprietatea aceasta fie este necesară, fie nu este necesară pentru viața inteligentă. În primul caz, proprietatea e deja explicată prin existența noastră, căci ea trebuie să fie valabilă în oricare univers din

foarte mica fracțiune de universuri care conțin viață inteligentă. Să considerăm acum o a doua clasă de proprietăți, cele care nu sunt necesare pentru viața inteligentă. Deoarece legile sunt alese la întâmplare în fiecare dintre bule, aceste proprietăți sunt distribuite la întâmplare în populația de universuri. Dar întrucât proprietățile acestea nu au nimic de-a face cu viața, şi ele vor fi distribuite la întâmplare în mulțimea universurilor în care apare viața. Prin urmare, teoria nu face nici o predicție despre ceea ce noi, în universul nostru, trebuie să observăm în privința acestor proprietăți.

Masa electronului e un bun exemplu pentru primul tip de proprietăți; există dovezi solide că condițiile prielnice vieții s-ar deteriora dacă masa electronului ar diferi mult față de valoarea observată.[13] Un bun exemplu pentru al doilea tip de proprietăți e masa cuarcului top; din câte ştim, ea ar putea să varieze într-un interval larg fără să afecteze disponibilitatea pentru viață a universului nostru. Prin urmare, principiul antropic nu ne ajută să explicăm valoarea observată a masei sale.

Inflația eternă face o predicție potențial testabilă, anume că curbura spațiului în toate universurile bulă e uşor negativă. (Un spațiu

cu curbură negativă este deformat ca o şa – spre deosebire de un spațiu cu curbură pozitivă, asemenea unei sfere.) Dacă universul nostru a fost creat într-o bulă într-un multivers inflaționar, asta trebuie să fie valabil şi pentru el. Este o predicție autentică, dar sunt câteva probleme în ce priveşte posibilitatea de testare. În primul rând, curbura negativă este foarte aproape de zero, iar zero e greu de distins de un număr foarte mic, pozitiv sau negativ. De fapt, curbura devine zero în limitele erorilor experimentale. Chiar şi cu datele mai bune preconizate pentru experimentele în curs, va fi foarte greu de spus dacă curbura este exact zero, uşor negativă sau uşor pozitivă. La fel ca în orice experiment ştiințific, întotdeauna va exista o anumită incertitudine în măsurători. Dată fiind această incertitudine, este improbabil ca vreo observație să infirme curând predicția.

Chiar dacă am reuşi să verificăm că curbura spațială a universului nostru e uşor negativă, aceasta nu oferă dovezi că el este unul dintr-un vast multivers. Există o mulțime de modele şi scenarii cosmologice compatibile cu o valoare uşor negativă a curburii; conform unuia dintre ele, universul nostru e unic şi reprezintă pur şi simplu o

soluție a ecuațiilor lui Einstein cu curbură negativă; asemenea soluții există şi nu e nevoie de inflație pentru a le justifica. Un altul spune că inflația a produs un singur univers. Şi nici o observație nu poate confirma o ipoteză despre proprietățile unui presupus ansamblu de alte universuri care nu-l afectează în nici un fel pe al nostru.

*

Scenariul inflației eterne necesită un set de teorii posibile, iar acesta poate fi furnizat de numărul enorm de teorii posibile ale corzilor. Că exista un peisaj vast de teorii posibile ale corzilor a fost evident din articolul mai înainte menționat al lui Strominger din 1986, dar s-a ajuns la o criză imposibil de ignorat atunci când, în 2003, s-au descoperit dovezi despre existența unui număr astronomic de teorii ale corzilor cu valori pozitive mici ale constantei cosmologice.[14] Numărul lor a fost estimat cu aproximație la 10^{500}. Totuşi, cel puțin deocamdată, numărul, deşi enorm, este finit. După care, în 2005, fizicianul de la MIT Washington Taylor împreună cu colegii săi au fost în măsură să aducă dovezi pentru existența unui număr infinit de teorii ale corzilor cu constante cosmologice *negative* mici.[15]

Aceasta are o consecință interesantă, pusă în evidență în 2005 de fizicianul sud-african George F.R. Ellis.[16] Dacă există într-adevăr un număr infinit de teorii ale corzilor cu valori negative mici ale constantei cosmologice, dar numai un număr finit cu o constantă cosmologică pozitivă mică, atunci putem prezice că valoarea constantei cosmologice trebuie să fie mică şi negativă. Dacă valoarea reală este distribuită în mod aleatoriu printre universurile din multivers, atunci e infinit mai probabil că trăim într-un univers cu o valoare negativă decât într-unul cu o valoare pozitivă, deoarece prima categorie este infinit mai numeroasă decât a doua. Aceasta ar fi o predicție autentică a teoriei corzilor, iar asemenea lucruri sunt rare. După câte se pare, ea infirmă teoria, întrucât valoarea măsurată a constantei cosmologice e pozitivă.

Unii teoreticieni ai corzilor au avertizat că mai sunt încă multe de descoperit în ce priveşte construcția teoriei corzilor, deci ar mai putea să apară dovezi pentru un număr infinit de teorii ale corzilor cu valori pozitive ale constantei cosmologice. Un alt răspuns a fost invocarea principiului antropic pentru a argumenta că universurile cu valori negative ale constantei cosmologice descrise de

Taylor şi colegii săi trebuie eliminate pe motiv că sunt neprielnice vieții.[17] Tot ce avem însă nevoie pentru ca infinitatea de universuri cu constante cosmologice negative să domine numărul finit de universuri cu constante cosmologice pozitive este ca orice fracțiune finită din prima categorie să conțină viață.

Problema cosmologiei antropice este că întotdeauna îi putem manipula presupunerile atunci când avem de-a face cu entități teoretice precum alte universuri, care sunt în principiu neobservabile.[18] Nu putem verifica ipoteza că există un număr enorm sau infinit de alte universuri, nici nu putem număra cum sunt distribuite între ele diverse proprietăți. Putem discuta dacă universuri diferite de al nostru ar putea sau nu să conțină viață, dar nu ne putem verifica argumentele prin observații.

O deosebire elocventă între teoriile antropice şi selecția naturală cosmologică este modul cum abordează fiecare din ele dificila problemă a constantei cosmologice. După cum am menționat, această importantă constantă a fizicii a fost măsurată şi are o valoare infimă, dar pozitivă: în unități ale scării Planck, 10^{-120}. Misterul este de ce e atât de minusculă. Fapt relevant, dacă mărim

constanta cosmologică în raport cu valoarea observată, păstrând fixe toate celelalte constante din fizică şi cosmologie, ajungem curând la o valoare pentru care universul se extinde atât de repede încât galaxiile nu se formează niciodată. Să numim aceasta *valoarea critică*. Ea este de aproximativ douăzeci de ori mai mare decât valoarea observată.

De ce e relevant faptul acesta? Voi începe cu un raționament eronat care decurge astfel:

> (1) Galaxiile sunt necesare vieții. Altminteri nu s-ar forma stele, iar fără stele nu există carbon şi nici energia care să favorizeze apariția structurilor complexe, inclusiv viața, pe suprafața planetelor.
> (2) Universul este plin cu galaxii.
> (3) Dar pentru a se forma galaxii, constanta cosmologică trebuie să fie mai mică decât valoarea critică.
> (4) În consecință, principiul antropic prezice că constanta cosmologică trebuie să fie mai mică decât valoarea critică.

Vedeți eroarea? Punctul nr. 1 este adevărat, dar el nu joacă nici un rol în logica raționamentului. Adevăratul raționament începe cu punctul 2. Faptul că universul e

plin cu galaxii este evident din observații; este irelevant dacă viața ar fi sau nu posibilă fără ele. Prin urmare, primul punct poate fi eliminat din raționament fără a slăbi concluzia. Dar punctul nr. 1 este singurul loc unde e menționată viața, aşa încât, odată eliminat, principiul antropic nu mai joacă nici un rol. Concluzia corectă este:

> (4) În consecință, din faptul observat că universul e plin cu galaxii rezultă că constanta cosmologică trebuie să fie mai mică decât valoarea critică.

Un mod de a spune că raționamentul e eronat este să ne întrebăm cum am reactiona dacă s-ar dovedi că constanta cosmologică este mai mare decât valoarea critică. Nu am contesta afirmația nr. 1, care e oricum irelevantă. Nu am contesta afirmația nr. 2, care e enunțul unui fapt. Am putea contesta doar nr. 3, care e un enunț teoretic. Poate că am calculat greşit valoarea critică.

În 1987, Steven Weinberg a propus o explicație ingenioasă pentru valoarea mică a constantei cosmologice, care nu e supusă acestei erori, folosind în continuare principiul antropic.[19] Iat-o: Să presupunem că universul nostru este unul dintr-un vast multivers în care valorile constantei

cosmologice sunt distribuite în mod aleatoriu între zero şi unu.[20] Întrucât avem nevoie de galaxii pentru a trăi, înseamnă că trăim într-unul dintre universurile cu o constantă cosmologică mai mică decât valoarea critică. Dar am putea trăi în oricare dintre acestea. Prin urmare, e ca şi cum ne-am afla în situația în care constanta cosmologică ar fi extrasă dintr-o pălărie, aleasă la întâmplare pentru a fi un număr între zero şi valoarea critică. Rezultă de aici că e improbabil ca valoarea constantei noastre cosmologice să fie mult mai mică decât valoarea critică, deoarece numai o fracțiune minusculă a numerelor din legendara pălărie vor fi atât de mici. Ne-am aştepta ca, în universul nostru, constanta cosmologică să aibă acelaşi ordin de mărime ca valoarea critică, pentru că sunt mult mai multe numere având aproximativ acea mărime decât numere mult mai mici.

Pe această bază, Weinberg a prezis că constanta cosmologică trebuie să fie sub valoarea critică, dar cu cel mult un ordin de mărime. Şi, în mod remarcabil, când constanta cosmologică a fost măsurată zece ani mai târziu[21], s-a constatat că are aproximativ 5% din valoarea critică. Prin raționamentul pe care tocmai l-am reprodus, asta s-ar întâmpla cam o dată la douăzeci de

extrageri ale unui număr din pălărie. Nu e ceva chiar atât de improbabil, se întâmplă o mulțime de lucruri în lume care au o şansă de unu la douăzeci. De aceea unii cosmologi susțin că succesul predicției lui Weinberg poate fi considerat ca o dovadă în favoarea ipotezei pe care s-a bazat – că trăim într-un multivers.

O dificultate cu această concluzie este că peste valoarea critică la care se face referire galaxiile nu s-ar forma *dacă constanta cosmologică ar fi singurul parametru care a variat*. Dar teoriile despre universul timpuriu au şi alți parametri variabili. Dacă simultan cu constanta cosmologică variem şi pe unii dintre aceia, argumentul îşi pierde forța.[22]

Să examinăm cazul în care variem mărimea fluctuațiilor de densitate. Aşa cum am arătat, acestea determină gradul de uniformitate a distribuției materiei în universul timpuriu. Fluctuațiile de densitate sunt relevante, pentru că dacă ar fi mai mari, constanta cosmologică ar putea să depăşească cu mult valoarea critică, şi totuşi galaxiile să se formeze în regiunile foarte dense create de fluctuații. Există în continuare o valoare critică pentru constanta cosmologică, dar ea creşte odată cu mărimea fluctuațiilor de densitate.

Putem deci relua raționamentul, lăsând constanta cosmologică şi mărimea fluctuațiilor să varieze amândouă pe cuprinsul populației de universuri. Să extragem acum din pălărie câte două numere pentru fiecare univers, unul pentru constanta cosmologică, celălalt pentru mărimea fluctuațiilor de densitate. Alegem acele numere la întâmplare, în intervalul în care se formează galaxii.[23] Se dovedeşte că probabilitatea de a obține în mod aleatoriu ca ambele numere să fie atât de mici pe cât se observă că sunt se reduce acum de la o şansă din 20 la câteva părți din 100 000.[24]

Problema este că, întrucât nu observăm alte universuri, e imposibil să ştim care anume constante variază pe cuprinsul ipoteticului multivers. Dacă presupunem că numai constanta cosmologică poate să varieze pe cuprinsul multiversului, argumentul lui Weinberg funcționează bine. Dar dacă presupunem că deopotrivă constanta cosmologică şi mărimea fluctuațiilor variază, argumentul nu mai funcționează chiar atât de bine. În lipsa oricărei dovezi independente privind care din aceste ipoteze e adevărată, dacă este vreuna, argumentul nu duce la nici o concluzie.

Prin urmare, afirmația că argumentul lui Weinberg a prezis corect valoarea aproximativă a constantei cosmologice cade, din cauza unei erori mai subtile decât cea discutată înainte. Eroarea aceasta, care le e cunoscută specialiştilor în teoria probabilităților, apare de fiecare dată când se profită de libertatea de a alege în mod arbitrar o distribuție de probabilitate ce descrie entități neobservabile, şi ca atare nu poate fi verificată independent. Argumentul inițial al lui Weinberg nu are forță logică, fiindcă se poate ajunge la o concluzie diferită făcând o presupunere diferită despre entitățile neobservabile.[25]

Selecția naturală cosmologică are mai mult succes în explicarea aceloraşi dovezi, deoarece oferă un motiv pentru a fixa atât mărimea fluctuațiilor, cât şi constanta cosmologică. Să ne aducem aminte că în unele modele simple de inflație mărimea fluctuațiilor e puternic anticorelată cu dimensiunea universului; altfel spus, cu cât fluctuațiile sunt mai mici, cu atât universul e mai mare, şi deci (dacă nimic altceva nu se schimbă) sunt mai multe găuri negre. De aceea mărimea fluctuațiilor trebuie să fie aproape de limita inferioară a intervalului necesar pentru formarea galaxiilor. Aceasta

implică, la rândul ei, o valoare critică mică a constantei cosmologice compatibilă cu formarea galaxiilor. Selecția naturală cosmologică, împreună cu modelul simplu de inflație, prezice că mărimea fluctuațiilor şi constanta cosmologică trebuie să fie amândouă mici. Predicția aceasta nu e arbitrară, şi este în bun acord cu datele observaționale.

Pe de altă parte, principiul antropic este compatibil cu un univers mult mai mic, o singură galaxie fiind probabil de ajuns pentru a da naştere vieții inteligente. Observațiile sugerează că o mare parte din stele au planete, aşa încât sunt suficiente planete într-o galaxie pentru a fi siguri că pe cel puțin una dintre ele există viață. Adăugarea altor galaxii nu va mări probabilitatea de apariție a vieții. Un adept entuziast al principiului antropic ar putea să replice că acesta poate fi salvat modificându-l pentru a afirma că e mai probabil să trăim într-un univers cu un număr mare de planete care adăpostesc viață. Aceasta oferă un motiv de a prefera universuri cât mai mari cu putință, ceea ce implică valori mici deopotrivă pentru fluctuațiile de densitate şi pentru constanta cosmologică.

Pesemne că se întâmplă ceva ciudat, fiindcă se pare că alterăm predicția unei teorii fără a modifica efectiv nici un fapt. Cele două versiuni ale principiului antropic nu se deosebesc prin nici o afirmație despre multiversul real, ci doar prin modul cum selectăm universurile asupra cărora simțim că trebuie să ne îndreptăm atenția dintr-o populație mult mai numeroasă de universuri neprielnice vieții.

„Numai o clipă“, ar putea răspunde entuziastul antropic. „O civilizație dintr-un multivers este mult mai probabil să se găsească într-un univers cu multe civilizații, şi deci multe galaxii, decât într-un univers cu o singură galaxie.“ Acesta pare la început un argument plauzibil, dar trebuie să replicăm: „De unde ştii?“ Ar putea fi mult mai multe universuri mici în multivers decât universuri mari, aşa încât o civilizație aleasă la întâmplare e mai probabil să fie într-un univers mic. Care scenariu este corect depinde de distribuția relativă a universurilor mari şi mici în multivers, dar trăsătura aceasta nu poate fi verificată în mod independent. Teoreticienii ar putea probabil să producă diferite modele, favorizând diferite distribuții ale dimensiunilor universurilor, dar faptul că poți ajusta

trăsături neobservabile ale scenariului tău, pentru a-ți permite să alegi unul care se potriveşte mai bine cu ipoteza ta, nu constituie o dovadă în favoarea acelui scenariu.

În selecția naturală cosmologică însă, universul nostru este un membru tipic al populației de universuri, şi nu există posibilitatea introducerii unui principiu ajustabil pentru a elimina cazurile atipice.

Să observăm că argumentul nu se referă la crearea de universuri în găuri negre *versus* crearea lor ca bule pe durata inflației. El se referă la rolul timpului şi al dinamicii în logica prin care scenariile explică trăsături cunoscute ale universului şi prezic altele noi. Un model inflaționar ar putea folosi timpul şi lungi filiații genealogice – bule în interiorul bulelor în interiorul altor bule –, aşa încât să evite dependența de principiul antropic şi să profite de avantajele selecției naturale cosmologice.

Nu e vorba doar că teoria care postulează o evoluție continuă în timp explică mai bine datele observaționale decât teoria atemporală. La fel de important este că teoria care apelează la evoluție face o predicție clară, în vreme ce predicțiile argumentului antropic sunt ajustabile după cum vrem să

funcționeze argumentul. Contrar primei impresii, ipotezele bazate pe ideea că legile naturii evoluează în timp sunt mai vulnerabile la falsificare decât scenariile cosmologice atemporale. Iar dacă o idee nu e vulnerabilă la falsificare, ea nu este ştiință.

---

15. Pentru peisajul oferit de teoriile corzilor, vezi Leonard Susskind, *Peisajul cosmic. Teoria corzilor şi iluzia unui plan inteligent* (Humanitas, Bucureşti, 2017) (n. red.).

12. Mecanica cuantică şi eliberarea atomului

Am văzut că realitatea timpului este cheia pentru abordarea misterului privitor la ce anume selectează legile naturii. Ea o face susținând ipoteza că acele legi evoluează. A considera că timpul e fundamental poate contribui şi la rezolvarea unei alte mari enigme a fizicii – înțelegerea mecanicii cuantice. Realitatea timpului permite o nouă formulare a teoriei cuantice, capabilă de asemenea să clarifice modul în care evoluează legile în timp.

Mecanica cuantică se bucură de cel mai mare succes dintre toate teoriile fizice inventate până acum. Practic nici una dintre tehnologiile digitale, chimice şi medicale pe care ne bazăm nu ar exista în absența fizicii cuantice. Cu toate acestea, avem motive întemeiate să credem că teoria e incompletă.

Mecanica cuantică este fără îndoială o provocare adresată încercărilor noastre de a înțelege lumea. De la crearea ei în anii 1920, fizicienii au născocit scenarii bizare pentru a

explica enigmele teoriei cuantice. Pisici care sunt în acelaşi timp vii şi moarte, o infinitate de universuri care există simultan, o realitate care depinde de ceea ce se măsoară sau de cine observă, particule care-şi transmit semnale una alteia pe distanțe enorme cu viteze mai mari decât a luminii – acestea sunt câteva dintre ideile ingenioase propuse ca soluții ale misterelor lumii subatomice.

Toate aceste strategii apar ca o reacție la faptul că mecanica cuantică nu oferă o imagine fizică despre ce se petrece într-un experiment individual. În privința asta nu există controverse. Axiomele mecanicii cuantice includ afirmația că ea furnizează doar predicții statistice pentru rezultatele experimentelor.

Einstein a susținut cu mult timp în urmă că mecanica cuantică e incompletă fiindcă nu reuşeşte să ofere o descriere precisă despre ce se întâmplă într-un experiment individual. Ce anume face un electron atunci când sare dintr-o stare energetică într-alta? Cum reuşesc să comunice instantaneu nişte particule aflate prea departe una de alta? Cum se face că ele par a fi în două locuri simultan? Mecanica cuantică nu dă nici un răspuns. Cu toate acestea, ea este extraordinar de utilă, în parte fiindcă oferă

fizicii un limbaj şi un cadru pentru organizarea unor cantități enorme de date empirice. Chiar dacă nu reuşeşte să ne arate ce se întâmplă efectiv la nivel subatomic, ea ne oferă un algoritm pentru a prezice probabilitățile diferitelor rezultate experimentale. Iar până acum algoritmul funcționează.

Poate o teorie să aibă succes ca generator de predicții, şi totuşi să fie incorectă, în sensul că viitoare teorii ar putea răsturna ipotezele sale asupra lumii? Aceasta s-a întâmplat de mai multe ori în istoria ştiinței. Ipotezele care stau la baza legilor mişcării ale lui Newton au fost răsturnate de relativitate şi teoria cuantică. Modelul lui Ptolemeu al sistemului solar ne-a servit bine timp de peste un mileniu, şi totuşi el s-a bazat pe idei profund greşite. S-ar părea că eficiența nu-i o garanție a adevărului.

Am ajuns să cred că mecanica cuantică va avea aceeaşi soartă ca marile teorii ale lui Ptolemeu şi Newton. Poate că n-o putem înțelege pur şi simplu fiindcă nu este adevărată. În schimb, e probabil să fie o aproximație a unei teorii mai profunde, care va fi mai uşor de înțeles. Acea teorie mai profundă este teoria cosmologică

necunoscută către care conduc toate argumentele din cartea de față. Cheia este, din nou, realitatea timpului.

Mecanica cuantică e o teorie problematică din trei motive strâns înrudite. Primul, ea nu reuşeşte să ofere o imagine fizică despre ce se petrece într-un proces sau experiment individual; spre deosebire de teoriile fizice anterioare, formalismul folosit în mecanica cuantică nu poate fi interpretat în sensul că arată ce se petrece clipă de clipă în timp. Al doilea, în majoritatea cazurilor ea nu reuşeşte să prezică rezultatul *exact* al unui experiment; în loc să ne spună ce se va întâmpla, ea ne oferă doar probabilități pentru diverse lucruri care s-ar putea întâmpla.

A treia şi cea mai problematică trăsătură a mecanicii cuantice este că pentru exprimarea teoriei sunt necesare noțiuni precum măsurătoare, observație sau informație. Acestea trebuie considerate noțiuni primare; ele nu pot fi explicate în termenii proceselor cuantice fundamentale. Mecanica cuantică este nu atât o teorie, cât o metodă pentru a codifica modul în care experimentatorii interoghează sistemele microscopice. Nici instrumentele de măsură pe care le folosim pentru a interacționa cu un sistem cuantic,

nici ceasul cu ajutorul căruia măsurăm timpul nu pot fi descrise în limbajul mecanicii cuantice – şi nici noi, ca observatori, nu putem fi descrişi astfel. Asta sugerează că pentru a crea o teorie cosmologică validă va trebui să renunțăm la mecanica cuantică şi s-o înlocuim cu o teorie care poate fi extinsă asupra întregului univers, inclusiv asupra noastră, ca observatori, şi asupra instrumentelor de măsură şi ceasurilor noastre.[1]

În căutarea acelei teorii, trebuie să avem în vedere trei indicii referitoare la natură despre care experimentul a arătat că sunt parte integrantă a fizicii cuantice: *întrebările incompatibile*, *corelația cuantică* [*entanglement*] şi *caracterul nelocal* [*nonlocality*].

Orice sistem va avea o listă de proprietăți – de pildă, poziția şi impulsul[2] pentru particule, sau culoarea şi înălțimea tocului pentru pantofi. Fiecărei proprietăți îi este asociată o întrebare care se poate pune: Unde se află particula acum? Ce culoare are pantoful ei? Este rolul experimentului să interogheze sistemul pentru a obține răspunsuri la aceste întrebări. În fizica clasică, dacă vrei să descrii complet un sistem răspunzi la toate întrebările, iar asta îți

oferă toate proprietățile. În fizica cuantică însă, cadrul necesar pentru a pune o întrebare poate face ca alte întrebări să fie fără răspuns.

De exemplu, poți întreba care e poziția unei particule, sau ce impuls are, dar nu ambele simultan. Este ceea ce Niels Bohr a numit *complementaritate* şi ceea ce înțeleg fizicienii atunci când vorbim despre *variabile necomutative*. Dacă ar exista modă cuantică, atunci culoarea pantofilor şi înălțimea tocului ar putea fi proprietăți incompatibile. Situația diferă foarte mult de cea din fizica clasică, unde nu eşti pus să alegi ce proprietate să măsori şi pe care s-o omiți. Întrebarea crucială este dacă alegerea pe care trebuie s-o facă experimentatorul influențează realitatea sistemului studiat.

Corelația cuantică [*entanglement*] este de asemenea un fenomen pur cuantic, potrivit căruia sisteme cuantice pereche pot avea anumite proprietăți comune, fiecare sistem rămânând în acelaşi timp nedefinit individual. Altfel spus, poți pune o întrebare despre o relație între membrii perechii care să aibă un răspuns bine definit, în vreme ce răspunsul la orice întrebare înrudită privitoare la membrii individuali nu are. Să considerăm o pereche de pantofi cuantici. Ei

ar putea avea o proprietate numită *contrarietate* [*contrary*], potrivit căreia orice întrebare pusă amândurora va furniza răspunsuri contrare. Dacă-i întrebi pe amândoi ce culoare au, iar pantoful stâng răspunde „alb“, atunci dreptul va răspunde „negru“, şi viceversa. Dacă întrebi despre înălțimea tocului, atunci dacă tocul pantofului stâng e înalt, tocul celui stâng va fi jos, şi viceversa. Dacă întrebi numai despre înălțimea tocului pantofului stâng, răspunsul va fi sau „înalt“, sau „jos“, cu o probabilitate de 50%. În mod asemănător, privitor la culoarea unui singur pantof, răspunsul va fi sau „negru“, sau „alb“, cu o probabilitate de 50%. De fapt, dacă perechea de pantofi cuantici are proprietatea de *contrarietate*, atunci orice întrebare adresată unuia singur va atrage răspunsuri aleatorii, iar orice întrebare adresată ambilor va atrage răspunsuri contrare.

În fizica clasică, orice proprietate a unei perechi de particule e reductibilă la o descriere a proprietăților fiecăreia în parte. Corelația cuantică arată că acest lucru nu e adevărat pentru sistemele cuantice. Important pentru discuția noastră este că prin corelație cuantică pot fi create proprietăți noi în natură. Dacă corelezi două sisteme cuantice

de acelaşi tip, care până atunci n-au interacționat niciodată, preparându-le cu o proprietate cum e *contrarietatea*, creezi o proprietate care n-a existat niciodată până atunci în natură.

Perechile corelate cuantic sunt create aducând laolaltă două particule subatomice şi făcându-le să interacționeze. Odată corelate, ele rămân corelate cuantic, chiar dacă se separă şi se îndepărtează la mare distanță una de alta. Atâta vreme cât nici una din ele nu interacționează cu un alt sistem, ele continuă să aibă în comun proprietăți corelate cuantic, cum e *contrarietatea*. Asta dă naştere celui de-al treilea şi cel mai uimitor indiciu privind natura la nivel cuantic, *caracterul nelocal*.

Să corelăm cuantic o pereche de pantofi cu proprietatea *contrarietate* la Montréal, după care trimitem pantoful stâng la Barcelona, iar dreptul la Tokyo. Experimentatorii de la Barcelona se hotărăsc să măsoare culoarea pantofului stâng. Decizia lor pare să afecteze instantaneu culoarea pantofului drept, aflat la Tokyo. Aceasta fiindcă, odată ce au observat culoarea pantofului lor, cei din laboratorul de la Barcelona pot prezice corect că pantoful de la Tokyo are culoarea opusă.

În secolul XX, ne-am obişnuit ca interacțiunile fizice să posede o proprietate numită caracter local, ceea ce înseamnă că, în cazul unui transfer de informație dintr-un loc într-altul, ea trebuie să se propage prin intermediul unei particule sau al unei unde. Conform relativității restrânse, e de presupus că orice informație călătoreşte cu viteza luminii sau mai lent. Fizica cuantică pare să încalce acest principiu de bază al relativității restrânse.

Efectele nelocale din teoria cuantică sunt reale, dar ele sunt subtile şi nu pot fi folosite pentru a transmite informație între Barcelona şi Tokyo. Motivul este că indiferent ce proprietate se hotărăsc să măsoare experimentatorii din Tokyo, pentru ei rezultatul va părea aleatoriu. Ei vor observa la fel de frecvent că pantoful lor e negru sau alb. Numai după ce află ce culoare a fost observată la Barcelona, ei vor înțelege că perechea are culori opuse. Dar pentru a înțelege asta e nevoie ca informația să fie transmisă între Barcelona şi Tokyo – aşadar, cu viteza luminii sau mai lent.

Rămâne însă întrebarea cum se stabilesc corelațiile între pantofii din Tokyo şi Barcelona, aşa încât atunci când experimentatorii de acolo deschid fiecare

cutia lor şi scot pantoful, culorile să fie întotdeauna opuse. S-ar putea crede că cine a împachetat cutiile la Montréal a avut grijă să pună o culoare în cutia expediată la Tokyo şi culoarea opusă în cutia expediată la Barcelona. Totuşi, se poate demonstra printr-o combinație de argumente teoretice şi rezultate experimentale că aşa ceva nu se întâmplă. În schimb, corelațiile se stabilesc cumva în momentul când sunt deschise cutiile la Tokyo şi la Barcelona.

Să presupunem că avem o cutie mare plină cu perechi de pantofi şi că am corelat cuantic fiecare pereche cu proprietatea *contrarietate*. Expediem toți pantofii stângi la Barcelona şi pe toți cei drepți la Tokyo. Să-i lăsăm pe experimentatorii din fiecare oraş să aleagă la întâmplare ce proprietate a fiecărui pantof individual să măsoare şi să țină evidența rezultatelor. Ei îşi trimit opțiunile şi rezultatele înapoi la fabrica din Montréal, unde acestea sunt comparate. Se dovedeşte că singura posibilitate de a înțelege rezultatele în ansamblu e să se presupună existența unor efecte nelocale, prin care proprietățile unui pantof din fiecare pereche sunt influențate de ceea ce s-a decis să se măsoare la celălalt pantof. Acesta e conținutul unei teoreme demonstrate în 1964

de fizicianul irlandez John Stewart Bell şi verificată printr-un set de experimente ingenioase înrudite.

Aceste trăsături şi probleme s-au bucurat de multă atenție în cele nouă decenii scurse de la formularea mecanicii cuantice. Au fost propuse numeroase abordări vizând o mai bună înțelegere a sa. Cred acum că nici una nu-şi atinge ținta, şi că trăsăturile stranii ale teoriei cuantice apar din cauză că ea este o trunchiere a unei teorii cosmologice – o trunchiere aplicabilă la subsisteme mici ale universului. Acceptând realitatea timpului, deschidem calea către o înțelegere a teoriei cuantice care îi lămureşte misterele şi le-ar putea rezolva.

*

Cred de asemenea că realitatea timpului face posibilă o nouă formulare a mecanicii cuantice.[3] Formularea aceasta e nouă şi speculativă. Ea nu a dus încă la nici o predicție experimentală precisă, ca să nu mai vorbim de teste experimentale, de aceea nu pot afirma că e corectă. Ea oferă însă o perspectivă radical diferită asupra naturii legilor fizicii, concretizând într-un mod nou

şi surprinzător ideea de legi care evoluează în timp. Şi probabil că va fi testabilă, după cum vom vedea numaidecât.

Dar putem oare într-adevăr renunța la ideea unor legi ale naturii atemporale fără să pierdem capacitatea fizicii de a explica atât de multe despre lumea din jurul nostru? Suntem obişnuiți să credem că legile sunt deterministe. Una dintre consecințele determinismului este că nu poate exista nimic cu adevărat nou în univers – tot ce se întâmplă este rearanjarea particulelor elementare cu proprietăți imuabile prin legi imuabile.

Există fără îndoială nenumărate situații în care ne putem baza pe faptul că viitorul va oglindi trecutul. Când facem un experiment pe care l-am mai efectuat de multe ori şi întotdeauna am obținut acelaşi rezultat, ne putem aştepta la acel rezultat şi în viitor. (Chiar dacă rezultatele diferă uneori, proporțiile acestora se vor păstra în măsurătorile viitoare.) Ne putem aştepta ca data următoare când aruncăm o minge traiectoria ei să fie o parabolă, aşa cum s-a întâmplat de fiecare dată când am făcut lucrul acesta în trecut. De obicei spunem că asta se datorează faptului că mişcarea e determinată de o lege atemporală a naturii,

care, atemporală fiind, va acționa şi în viitor la fel cum a acționat în trecut. Prin urmare, legea atemporală exclude noutatea autentică.

Pentru a explica faptul că prezentul oglindeşte trecutul este într-adevăr necesar să presupunem că acționează o lege atemporală? Avem nevoie de noțiunea de lege numai în cazurile în care un proces sau un experiment a fost repetat de multe ori. Dar pentru a explica aceste cazuri nu-i nevoie de o lege atemporală. E suficient ceva mult mai slab – de pildă un principiu care afirmă că măsurătorile repetate duc la aceleaşi rezultate. Nu fiindcă ele se supun unei legi, ci fiindcă singura lege este un *principiu al precedenței* [*principle of precedence*]. Un asemenea principiu ar explica toate exemplele în care determinismul prin legi funcționează, fără a interzice însă ca măsurători noi să producă rezultate noi, imprevizibile pe baza cunoaşterii trecutului. Ar putea exista cel puțin un mic grad de libertate în evoluția unor stări noi fără a contrazice aplicarea legilor în împrejurări care au fost produse în mod repetat în trecut. Dreptul comun în tradiția anglo-saxonă operează pe baza unui principiu al precedenței, judecătorii fiind constrânşi să decidă la fel ca omologii lor din

trecut, atunci când le sunt prezentate cazuri similare. Ce vreau eu să sugerez este că ceva asemănător ar putea fi valabil şi în natură.

După ce am formulat această idee, am fost surprins să aflu că şi aici fusesem precedat de Charles Sanders Peirce, care a spus că legile naturii sunt obişnuințe [*habits*] formate în decursul timpului:

> Toate lucrurile au tendința să capete obişnuințe. Atomii şi părțile lor, moleculele şi grupurile de molecule, pe scurt, orice obiect real conceptibil e mult mai probabil să acționeze la fel ca într-o ocazie precedentă asemănătoare decât altfel. Tendința aceasta constituie ea însăşi o regularitate şi e în continuă creştere. Privind înapoi în trecut, privim către perioade când tendința era tot mai puțin fermă.[4]

Acest principiu va deveni crucial în cazurile autentic noi. Căci dacă natura operează într-adevăr conform unui principiu al precedenței, şi nu conform unei legi atemporale, atunci în absența unor precedente nu vor exista predicții privind comportamentul unui sistem. Dacă producem un sistem cu adevărat nou, răspunsul său la măsurătoare nu va fi predictibil pe baza

vreunei informații pe care o avem deja. Abia după ce am produs numeroase copii ale acelui sistem intră în acțiune principiul precedenței. Din acel moment, comportamentul sistemului e previzibil.

Dacă natura e astfel, atunci viitorul este într-adevăr deschis. Am dispune în continuare de avantajul unor legi sigure în cazurile cu precedent amplu, dar fără încorsetarea determinismului.

Se cuvine să spunem că mecanica clasică împiedică existența noului autentic, pentru că tot ce se întâmplă e mişcarea particulelor conform legilor fixe. Fizica cuantică se deosebeşte însă de mecanica clasică în două privințe, ceea ce ne permite să înlocuim legile atemporale cu un principiu al precedenței.

În primul rând, aşa cum am văzut, corelația cuantică poate produce proprietăți într-adevăr noi. Putem testa o pereche de particule în privința unei proprietăți corelate cuantic cum e *contrarietatea*, o proprietate pe care n-o au particulele individuale. În al doilea rând, pare să existe un element autentic aleatoriu în reacțiile sistemelor cuantice la mediile lor. Chiar dacă ştii totul

despre trecutul unui sistem cuantic, nu poți prezice cu certitudine ce va face el atunci când e măsurată una dintre proprietățile lui.

Aceste două trăsături ale sistemelor cuantice ne permit să înlocuim postularea unor legi atemporale cu ipoteza că în natură acționează un principiu al precedenței care asigură că viitorul seamănă cu trecutul. Acest principiu e suficient pentru a susține determinismul acolo unde e necesar, dar el presupune că natura, când este confruntată cu proprietăți noi, poate dezvolta legi noi care să se aplice la ele.

Iată o ilustrare simplă a modului cum funcționează principiul precedenței în fizica cuantică: să considerăm un proces cuantic în care un sistem e preparat şi apoi măsurat, şi să presupunem că procesul acesta s-a repetat de multe ori în trecut. Aceasta ne oferă o colecție de rezultate anterioare ale măsurătorii: la o anumită întrebare, sistemul a răspuns afirmativ de X ori şi negativ de Y ori. Rezultatul oricărei viitoare repetări a acelui proces este atunci selectat aleatoriu din colecția de rezultate ale cazurilor anterioare. Să presupunem acum că nu există nici un precedent, pentru că sistemul a fost preparat cu o valoare bine definită a unei

proprietăți cu adevărat noi. Atunci rezultatul măsurătorii va fi liber, în sensul că nu e determinat de nimic din trecut.

Să însemne oare ideea aceasta că natura este într-adevăr liberă să aleagă rezultatul unui experiment? Se ştie deja că, într-un anumit sens, sistemele cuantice posedă un element de libertate – un sens lămurit de o recentă teoremă descoperită şi demonstrată de John Conway şi Simon Kochen, doi matematicieni de la Princeton. Nu-mi prea place numele pe care l-au dat rezultatului lor, dar e atrăgător şi a avut succes: *teorema liberului-arbitru*.[5] Teorema se aplică în cazul a doi atomi (sau alte sisteme cuantice) care devin corelați cuantic, iar apoi se separă, după care e măsurată o proprietate a fiecăruia. Teorema afirmă: Să presupunem că există un sens în care cei doi experimentatori sunt liberi să aleagă ce să măsoare la atomii lor. Atunci răspunsul atomilor la măsurătoare este liber în acelaşi sens.

Aceasta nu are nimic de-a face cu conceptul evaziv de liber-arbitru. Dacă afirmăm că experimentatorii sunt liberi să aleagă ce să măsoare, înțelegem că opțiunea lor nu e determinată de istoria lor. Nici o cantitate de cunoştințe despre trecutul experimentatorilor şi lumea lor nu ne va

permite să le prezicem opțiunea. Atunci atomii sunt de asemenea liberi, în sensul că nici o cantitate de informații despre trecut nu ne permite să prezicem rezultatul unei măsurători asupra uneia dintre proprietățile lor.[6]

Mi se pare minunat să-mi imaginez că o particulă elementară e cu adevărat liberă, chiar şi în sensul acesta restrâns. El presupune că nu există nici un motiv pentru ce alege un electron să facă atunci când îl măsurăm – şi prin urmare nici un cadru determinist sau algoritmic nu poate capta în întregime evoluția unui microsistem. E un lucru emoționant şi înfricoşător totodată, întrucât ideea că alegerile făcute de atomi sunt cu adevărat libere (adică fără vreo cauză) nu satisface cerința rațiunii suficiente – existența unui răspuns la orice întrebare pe care am putea-o pune naturii.

Putem oare cuantifica de câtă libertate dispune natura, dacă mecanica cuantică este corectă? Ştim că mecanica clasică nu are o astfel de libertate, fiindcă ea descrie o lume deterministă al cărei viitor poate fi prezis în întregime din cunoaşterea trecutului. Statistica şi probabilitățile pot juca un rol în descrierea lumii clasice, dar ele reflectă doar

ignoranța noastră. Nici o libertate nu este garantată, pentru că întotdeauna putem afla suficient pentru a face predicții exacte.

Teorema lui Conway şi Kochen sugerează că sistemele cuantice au un grad de libertate reală, dar ar putea exista un tip de fizică potrivit căreia natura să aibă şi mai multă libertate? Mi-am pus întrebarea asta şi nu a fost prea greu să răspund. În acest scop, m-am bazat pe cercetări recente asupra fundamentelor mecanicii cuantice care mi-au oferit o definiție precisă despre cât de multă libertate poate avea un sistem cuantic.

În jurul anului 2000, Lucien Hardy, pe atunci la Universitatea din Oxford, dar care scurt timp după aceea s-a mutat la Institutul Perimeter pentru Fizică Teoretică, a conceput o clasă generală de teorii care prezic probabilitățile pentru rezultatele măsurătorilor. Acestea includeau nu doar mecanicile clasică şi cuantică, ci şi multe alte teorii. Hardy a cerut doar ca teoriile să utilizeze consecvent noțiunea de probabilitate şi să se comporte rezonabil atunci când sunt aplicate fie unui sistem izolat, fie la două sau mai multe sisteme în combinație. Aceste cerințe sunt exprimate într-o listă scurtă de presupuneri, sau axiome, pe care Hardy le numeşte „axiome

rezonabile“.[7] Ulterior ele au fost dezvoltate şi modificate de alți teoreticieni. Am putut să folosesc o versiune a axiomelor lui Hardy elaborată de Lluis Masanes şi Markus Müller[8] pentru a face o afirmație precisă despre câtă libertate are o teorie.

Cantitatea de libertate este exprimată prin cât de multă informație despre un sistem trebuie să posezi pentru a putea face predicții asupra viitorului său. Informația aceasta poate fi obținută preparând multe copii identice ale sistemului şi punând diferite întrebări despre fiecare. Predicțiile pe care această interogație ne permite să le facem ar putea fi tot probabiliste, dar sunt cele mai bune predicții cu putință, în sensul că nici o observație ulterioară asupra sistemului nu le-ar îmbunătăți precizia. Pentru fiecare sistem studiat de Hardy, există o anumită cantitate finită de informație necesară pentru a stabili cel mai bine cum va reacționa sistemul la orice măsurătoare posibilă. Cu cât trebuie să măsori mai multe lucruri despre un sistem înainte de a putea face cele mai bune predicții posibile, cu atât el are mai multă libertate.

Pentru a vedea câtă libertate implică asta, trebuie să comparăm cantitatea de informație necesară pentru a face predicții cu o măsură a

mărimii sistemului. O măsură utilă este numărul de răspunsuri pe care-l poate da sistemul la o întrebare pusă într-un experiment. În cazul cel mai simplu, există doar două opțiuni: dacă întrebi despre culoarea unui pantof cuantic, el poate fi alb sau negru. Dacă întrebi despre înălțimea tocului, acesta poate fi înalt sau jos.

Ce am demonstrat eu este că mecanica cuantică maximizează cantitatea de informație necesară per opțiune. Altfel spus, mecanica cuantică descrie un univers în care se pot face predicții probabilistice asupra comportamentului sistemelor, dar în care acele sisteme au în raport cu determinismul libertatea maximă pe care o poate avea un sistem fizic descris de probabilități. Prin urmare, în sensul în care sistemele cuantice sunt libere, ele sunt libere în cel mai înalt grad posibil. Combinând principiul precedenței cu acest *principiu al libertății maxime*, se obține o nouă formulare a fizicii cuantice. Formularea aceasta nu poate fi exprimată în afara unui cadru în care timpul este real, deoarece utilizează în mod esențial distincția dintre trecut şi viitor. Putem deci abandona ideea că există legi ale naturii atemporale şi deterministe, fără să pierdem nimic din puterea explicativă a fizicii.

Rezultatul că sistemele cuantice îşi maximizează libertatea a fost un pas aproape banal, date fiind lucrările anterioare ale lui Hardy, Masanes şi Müller. Perspectiva nouă pe care am adus-o asupra problemei a fost realitatea timpului.

Prima reacție a unor prieteni şi colegi când le-am explicat ideea aceasta a fost să râdă. Fără îndoială că mai rămân detalii de completat, de pildă modul cum se acumulează precedența pornind de la libertatea primului caz, prin următoarele câteva cazuri, şi mai departe către cazuri bine stabilite, cu multe precedente.[9] Dar dincolo de amănunte, propunerea unui principiu al precedenței conține un element de implauzibilitate. Cum îşi recunoaşte un sistem toate precedentele? Prin ce mecanism îşi selectează el la întâmplare un element din mulțimea precedentelor sale? Aceasta pare să necesite un nou tip de interacțiune, prin care un sistem fizic poate interacționa cu copii ale sale din trecut.

Principiul nu spune cum se petrece lucrul acesta; în privința asta, el nu e mai bun decât formularea obişnuită a mecanicii cuantice. În vechea formulare, măsurătoarea este o noțiune primară; în prezenta formulare, a fi un sistem cuantic de acelaşi tip (adică

preparat şi transformat în acelaşi fel) este o noțiune primară. Dar întrebări similare s-ar fi putut pune şi despre ideea unei legi a naturii atemporală care acționează pentru a produce mişcare şi schimbare. Cum „ştie“ un electron că este electron, astfel încât i se aplică ecuația Dirac, şi nu alta? Cum „ştie“ un cuarc ce tip de cuarc este şi ce masă trebuie să aibă? Cum reuşeşte o entitate atemporală, precum o lege a naturii, să pătrundă în timp pentru a acționa asupra fiecărui electron în parte?

Suntem obişnuiți cu ideea unor legi ale naturii atemporale care acționează în timp, şi ea nu ni se mai pare ciudată. Dar dacă facem un pas înapoi, vedem că ea se bazează pe câteva presupuneri metafizice importante care nu sunt deloc evidente. Şi principiul precedenței se bizuie pe presupuneri metafizice, dar acestea ne sunt mai puțin familiare decât cele care ne permit să credem în legi ale naturii atemporale.

Dacă metafizica implicată de principiul precedenței e nou, în opinia mea el este cu mult mai economic decât unele dintre abordările actuale fantastice ale teoriei cuantice – precum cea că realitatea noastră e una dintr-o mulțime infinită de lumi existente simultan. Când este vorba de teoria cuantică,

trebuie să adoptăm câteva noțiuni foarte ciudate. Dar suntem liberi să alegem propriile noastre noțiuni ciudate – cel puțin până când experimentul ne va spune că una dintre abordările teoriei cuantice e superioară celorlalte. Sunt dispus să pariez că principiul precedenței va genera idei noi pentru experimente ale căror rezultate ne-ar putea conduce către o fizică dincolo de mecanica cuantică.

S-ar putea obiecta că mecanica cuantică oferă deja predicții despre felul în care se va comporta o nouă proprietate. Contrazice oare noua idee acele predicții? Da, iar acesta e cel mai probabil motiv pentru care ea ar putea eşua. Să presupunem că producem, într-un calculator cuantic, un nou tip de stare corelată cuantic, care n-a fost niciodată produs în natură. În teoria cuantică convențională, se poate calcula cum se va comporta acest sistem corelat cuantic dacă asupra lui se efectuează o măsurătoare. Principiul precedenței pe care îl propun sugerează posibilitatea ca aceste predicții să nu fie confirmate de experiment. Aceasta echivalează cu a sugera că noi tipuri de stări corelate cuantic dau naştere unor noi interacțiuni în natură, sau unor schimbări dependente de context în interacțiunile

existente. N-au fost observate niciodată asemenea interacțiuni noi sau vreo dependență de context a interacțiunilor, prin urmare scepticismul e justificat.

Dar rareori în istoria noastră ingeniozitatea umană a condus la crearea unor noi tipuri de stări corelate cuantic. Abia învățăm s-o facem, iar dacă noua ipoteză e corectă, rezultatele experimentelor cu calculatoare cuantice ar putea fi surprinzătoare. Cel puțin, probabil că ea este vulnerabilă la falsificare prin experimente cu dispozitive cuantice care produc noi stări corelate cuantic. Ea contrazice o teză fundamentală a reducționismului, potrivit căreia viitorul sistemelor compuse, oricât de complexe, poate fi prezis doar pe baza cunoaşterii forțelor existente între perechi de particule elementare. Dar violările reducționismului implicate sunt rare şi nesemnificative, încât aş sugera că e rezonabil să lăsăm experimentul să decidă.

Această nouă înțelegere a fizicii cuantice îndeplineşte două dintre criteriile pentru o teorie cosmologică. Ea satisface cerința de *închidere explicativă* (deşi într-o formă restrânsă, care permite o libertate autentică în cazurile noi). Principiul precedenței afirmă că rezultatul unor viitoare măsurători e

determinat de mulțimea cazurilor anterioare. Cazurile acestea au fost reale, prin urmare avem doar efectul unor lucruri care au fost reale în trecut asupra unor lucruri care vor fi reale în viitor. Evident, aceasta satisface şi criteriul că legile evoluează, şi o face într-un mod provocator, propunând că măsurătorile fără precedent nu sunt guvernate de nici o lege anterioară. Pe măsură ce se acumulează rezultatele, precedentul este stabilit; numai după stabilirea unei precedențe suficiente, viitoarele rezultate vor avea caracter legic.

Odată cu apariția unor stări noi în natură, evoluează legi noi care să le ghideze – ceea ce sugerează că interacțiunile fundamentale pe care le observăm şi le descriem cu ajutorul Modelului Standard al fizicii particulelor au rezultat din „fixarea“ [*locking in*] unor noi legi atunci când stările corespunzătoare electronilor, cuarcilor şi particulelor înrudite au apărut pentru prima oară odată cu răcirea universului la scurt timp după big bang.

Dar noua propunere *nu* satisface principiul rațiunii suficiente. În măsura în care sistemele cuantice sunt cu adevărat libere – în sensul că rezultatele individuale sunt nedeterminate –, principiul rațiunii suficiente este încălcat, deoarece nu există nici un

motiv raţional pentru rezultatul unui experiment individual. Nu există absolut nici un motiv pentru stabilirea momentului când se dezintegrează un nucleu radioactiv, sau pentru rezultatele exacte ale oricărora din celelalte cazuri în care mecanica cuantică oferă doar predicţii probabilistice.

Indiferent care va fi soarta acestei noi idei – şi, la fel ca în cazul oricărei idei speculative noi, trebuie să ne aşteptăm la posibilitatea unui eşec –, putem vedea utilitatea ipotezei legate de realitatea timpului. Realitatea timpului nu e doar o speculaţie metafizică; este o ipoteză capabilă să inspire idei noi şi să pună în mişcare un program de cercetare robust.

13. Bătălia dintre relativitate şi cuante

Principiul raţiunii suficiente este esenţial pentru programul de a extinde fizica la scara întregului univers, fiindcă stabileşte ca obiectiv descoperirea unui motiv raţional pentru orice alegere făcută de natură. Comportamentul acauzal, aparent liber, al sistemelor cuantice individuale reprezintă o provocare formidabilă pentru acel principiu.

Exigenţa raţiunii suficiente poate fi satisfăcută şi în fizica cuantică? Aceasta depinde dacă mecanica cuantică poate fi extinsă asupra întregului univers pentru a oferi „cea mai fundamentală“ descriere a naturii cu putinţă, sau este doar o aproximaţie a unei teorii cosmologice foarte diferite. Dacă putem extinde teoria cuantică asupra întregului univers, atunci teorema liberului-arbitru se aplică la scară cosmologică. Deoarece presupunem că nu există o teorie „mai fundamentală“, rezultă că natura este cu adevărat liberă. Libertatea sistemelor cuantice la scară cosmologică ar

implica o limită pentru principiul rațiunii suficiente, fiindcă nu se poate preciza nici un motiv rațional sau suficient pentru nenumăratele alegeri libere pe care le fac sistemele cuantice.

Dar propunând această extensie a mecanicii cuantice, comitem eroarea cosmologică, forțând o teorie dincolo de domeniul limitat în care poate fi comparată cu experimentul. Un răspuns mai prudent ar fi să explorăm ipoteza că fizica cuantică e o aproximație, valabilă doar pentru subsisteme mici. Informația lipsă necesară pentru a determina ce va face un sistem cuantic ar putea fi prezentă undeva în univers, aşa încât să intre în joc atunci când includem o descriere cuantică a unui mic subsistem într-o teorie a întregului univers.

Ar putea exista o teorie cosmologică deterministă care să dea naştere fizicii cuantice de fiecare dată când izolăm un subsistem şi ignorăm restul? Răspunsul este afirmativ, dar, aşa cum vom vedea numaidecât, ea are un preț ridicat.

Conform unei asemenea teorii, probabilitățile teoriei cuantice se datorează numai ignoranței noastre în privința întregului univers, şi ele sunt înlocuite cu rezultate bine definite la nivelul universului

în ansamblu. Incertitudinile cuantice apar atunci când teoria cosmologică e trunchiată pentru a descrie o mică parte a universului.

O asemenea teorie a fost numită teorie cu *variabile ascunse*, fiindcă incertitudinile cuantice sunt rezolvate de informația despre univers care e ascunsă experimentatorului care lucrează cu un sistem cuantic izolat. Au fost propuse astfel de teorii şi ele oferă predicții asupra fenomenelor cuantice în acord cu cele ale fizicii cuantice. Ştim aşadar că, cel puțin în principiu, tipul acesta de rezolvare a problemelor mecanicii cuantice e posibil. Mai mult, dacă determinismul e restaurat prin extinderea teoriei cuantice la o teorie asupra întregului univers, atunci variabilele ascunse au legătură nu cu o descriere mai precisă a sistemului cuantic individual, ci cu relația acelui sistem cu restul universului. Le putem numi atunci *variabile ascunse relaționale*.

Potrivit principiului libertății maxime, prezentat în capitolul anterior, teoria cuantică e teoria probabilistică în care incertitudinile intrinseci au cea mai mare valoare posibilă. Altfel spus, informația despre un atom de care am avea nevoie pentru a restabili determinismul, care e codificată în relațiile acelui atom cu întregul univers, este maximă.

Adică, proprietățile fiecărei particule din univers sunt înglobate maximal în relații ascunse cu universul în ansamblu. Prin urmare, problema înțelegerii mecanicii cuantice e esențială pentru căutarea noii teorii cosmologice vizate de celelalte argumente din această carte.

Dar asta presupune să renunțăm la relativitatea simultaneității şi să revenim la o imagine asupra lumii în care o definiție absolută a simultaneității este valabilă pe întreg cuprinsul universului.

Aici trebuie să procedăm cu prudență – nu vrem să contrazicem succesele teoriei relativității. Printre acestea se află combinarea reuşită a relativității restrânse cu teoria cuantică numită teoria cuantică a câmpurilor. Ea este baza Modelului Standard al fizicii particulelor şi face numeroase predicții exacte, care au fost confirmate de rezultatele multor experimente.

Teoria cuantică a câmpurilor are însă propriile sale dificultăți. Între acestea, o jonglerie complicată cu mărimi infinite necesară înainte de a putea extrage predicții. Mai mult, teoria cuantică a câmpurilor moşteneşte toate problemele conceptuale ale teoriei cuantice şi nu oferă nimic nou pentru rezolvarea lor. Aceste vechi probleme ale

teoriei cuantice, împreună cu noile dificultăți create de infinități, sugerează că şi teoria cuantică a câmpurilor este o aproximație a unei teorii mai profunde şi mai unificate.

De aceea, în pofida succeselor teoriei cuantice a câmpurilor, numeroşi fizicieni, începând cu Einstein, au vrut s-o înlocuiască cu o teorie mai profundă care să ofere o descriere completă a fiecărui experiment individual – ceea ce, aşa cum am văzut, nici o teorie cuantică nu face. Căutările lor s-au confruntat sistematic cu un conflict ireconciliabil între fizica cuantică şi relativitatea restrânsă. Conflictul acesta trebuie înțeles dacă avem în vedere renaşterea timpului în fizică.

*

Există o tradiție – începând cu Niels Bohr – care pretinde că eşecul teoriei cuantice de a oferi o imagine despre ce se întâmplă într-un experiment individual este una dintre virtuțile sale, iar nu un defect. Aşa cum am observat în capitolul 7, Bohr a argumentat cu abilitate că scopul fizicii nu este să ofere o astfel de imagine, ci să creeze un limbaj în care putem vorbi unii cu alții despre pregătirea experimentelor asupra sistemelor atomice şi despre rezultatele lor.

Scrierile lui Bohr mi se par fascinante, dar neconvingătoare. Aceeaşi impresie mi-o lasă şi unii teoreticieni contemporani, care susțin că mecanica cuantică nu „se referă“ la lumea fizică, ci la *informația* pe care o avem despre lumea fizică. Aceşti teoreticieni argumentează că starea cuantică nu corespunde nici unei realități fizice; în schimb, ea doar codifică informația pe care noi, observatorii, o putem avea despre un sistem. Aceştia sunt oameni inteligenți cu care îmi place să polemizez, dar mă tem că ei subapreciază ştiința. Dacă mecanica cuantică e doar un algoritm pentru prezicerea probabilităților, nu putem oare găsi ceva mai bun? La urma urmei, ceva se întâmplă *cu adevărat* într-un experiment individual. Ceva, şi numai acel ceva, este realitatea pe care o numim electron sau foton. Nu ar trebui să fim în măsură să captăm esența electronului individual într-un limbaj conceptual şi un cadru matematic? Poate că nu există nici un principiu care să garanteze că realitatea fiecărui proces subatomic din natură poate fi înțeleasă de oameni şi poate fi exprimată prin limbaj sau matematică. Dar n-ar trebui măcar să încercăm? De aceea mă alătur lui Einstein. Cred că există o realitate fizică obiectivă şi că ceva descriptibil se

întâmplă atunci când un electron sare de pe un nivel energetic al unui atom pe altul. Caut aşadar o teorie care să ofere această descriere.

Prima teorie cu variabile ascunse a fost prezentată de prințul Louis de Broglie în 1927, la o faimoasă întrunire a fizicienilor numită a V-a Conferință Solvay, la scurt timp după ce mecanica cuantică a fost adusă în forma sa finală.[1] Aceasta a fost inspirată de dualitatea undă/particulă, despre care am discutat în capitolul 7. Teoria lui de Broglie a rezolvat enigma undei şi particulei într-un mod care e simplitatea însăşi. El a postulat că există o particulă reală şi o undă reală. Ambele au existență materială. Mai înainte, în teza lui de doctorat din 1924, el postulase că dualitatea undă/particulă e universală, aşa încât particulele, ca de pildă electronii, sunt totodată unde. În articolul lui de Broglie din 1927, aceste unde se propagă la fel ca undele de pe suprafața apei, interferând şi difractându-se. Particula urmează unda. În plus față de forțele obişnuite – electricitate, magnetism şi gravitație –, asupra particulei acționează o forță numită forța cuantică. Aceasta atrage particula către creasta undei; ca urmare, în medie, este mai probabil ca particula să fie găsită acolo, dar legătura e

probabilistică. De ce? Fiindcă nu ştim de unde a pornit particula. Întrucât ignorăm poziția inițială a particulei, nu putem prezice exact unde se va afla ea. Variabila ascunsă pe care n-o cunoaştem este poziția exactă a particulei.

Ulterior, John Bell a propus ca teoria lui de Broglie să fie numită o teorie a *ființabilelor* [*beables*], spre deosebire de teoria cuantică, care este o teorie a observabilelor.[2] O ființabilă este ceva ce există în orice moment, spre deosebire de o observabilă, care este o mărime ce-şi datorează existența unui experiment. În teoria lui de Broglie, atât particula, cât şi unda sunt ființabile. În particular, o particulă are întotdeauna o poziție, chiar dacă teoria cuantică n-o poate prezice exact.

Cu toate acestea, imaginea lui de Broglie a unei lumi cuantice în care particulele şi undele sunt ambele reale n-a avut succes. În 1932, marele matematician John von Neumann a publicat o carte în care a demonstrat că variabilele ascunse sunt imposibile.[3] Câțiva ani mai târziu, o tânără matematiciană germană pe nume Grete Hermann a atras atenția că demonstrația lui von Neumann avea un mare defect.[4] El comisese pare-se eroarea de a presupune

ceea ce voia să demonstreze şi s-a amăgit pe el însuşi şi pe alții camuflând presupunerea într-o axiomă tehnică. Dar articolul ei a fost ignorat.

Au trebuit să treacă două decenii pentru ca eroarea să fie redescoperită. Fizicianul american David Bohm a scris un tratat de mecanică cuantică la începutul anilor 1950.[5] Reflectând asupra misterelor teoriei cuantice, el a reinventat teoria variabilelor ascunse a lui de Broglie – despre care nu avusese cunoştință. El a scris un articol în care descria noua teorie cuantică, dar când l-a prezentat unei reviste, a primit raportul unor referenți care respingeau articolul întrucât contrazicea bine-cunoscuta demonstrație a lui von Neumann despre imposibilitatea variabilelor ascunse. Bohm a descoperit repede eroarea din demonstrație şi a scris un articol în care atrăgea atenția asupra ei.[6] De atunci, abordarea de Broglie–Bohm a mecanicii cuantice – cum este numită acum – a fost urmată de un mic număr de specialişti; este una dintre abordările fundamentelor teoriei cuantice care e urmată activ şi în prezent.

Cu teoria de Broglie–Bohm, înțelegem că teoriile cu variabile ascunse sunt o opțiune posibilă pentru soluționarea enigmelor teoriei

cuantice. Studierea ei s-a dovedit utilă, deoarece multe dintre trăsăturile sale se aplică oricărei teorii cu variabile ascunse posibile.

Teoria de Broglie–Bohm are o relație ambivalentă cu teoria relativității. Predicțiile statistice pe care le face sunt în acord cu mecanica cuantică şi pot deveni compatibile cu relativitatea restrânsă – şi, în particular, cu relativitatea simultaneității. Dar spre deosebire de mecanica cuantică, teoria face mai mult decât predicții statistice; ea oferă o imagine fizică detaliată despre ce se întâmplă în fiecare experiment individual. Unda, care evoluează în timp, influențează deplasarea particulei; prin aceasta, ea violează relativitatea simultaneității, fiindcă legea prin care unda influențează mişcarea particulei poate fi adevărată numai în sistemul de referință al unui singur observator. Prin urmare, în măsura în care considerăm că teoria cu variabile ascunse de Broglie–Bohm este o explicație a fenomenelor cuantice, trebuie să credem că există un observator privilegiat, ale cărui ceasuri măsoară o noțiune privilegiată de timp fizic.

Se dovedeşte că relația aceasta ambiguă cu relativitatea se extinde asupra tuturor teoriilor cu variabile ascunse posibile.[7]

Predicțiile statistice ale unei asemenea teorii, care sunt în acord cu mecanica cuantică, vor fi în acord cu teoria relativității. Dar orice imagine mai detaliată a unor evenimente individuale va încălca principiul relativității şi va fi interpretabilă doar din perspectiva unui singur observator.

Teoria de Broglie–Bohm are un mare neajuns, anume că nu îndeplineşte unul dintre criteriile noastre pentru o teorie cosmologică – cerința ca toate acțiunile să fie reciproce. Unda influențează deplasarea particulei, dar particula nu are nici o influență asupra undei. Din această cauză, teoria e nesatisfăcătoare ca teorie cosmologică. Există însă o teorie cu variabile ascunse alternativă care elimină această problemă.

*

Ca adept al concepției lui Einstein că trebuie să existe o teorie mai profundă dincolo de teoria cuantică, am încercat încă din vremea studenției să inventez teorii cu variabile ascunse. La fiecare câțiva ani, las deoparte celelalte cercetări ale mele şi încerc să rezolv problema aceasta crucială. Timp de mulți ani am lucrat la o metodă de abordare bazată pe o teorie cu variabile ascunse elaborată de

Edward Nelson, matematician la Princeton. Încercările au funcționat, dar toate aveau un element de artificialitate, prin aceea că anumite forțe trebuiau echilibrate extrem de riguros pentru a reproduce predicțiile mecanicii cuantice. În 2006, am scris un articol explicând motivele tehnice ale acestei artificialități [8], după care am abandonat abordarea.

Într-o după-amiază de la începutul toamnei lui 2010 am intrat într-o cafenea, am deschis un caiet de notițe la o pagină albă şi m-am gândit la numeroasele mele încercări eşuate de a depăşi mecanica cuantică. Am început prin a reflecta la o versiune a mecanicii cuantice numită *interpretarea ansamblurilor* [*ensemble interpretation*]. Această interpretare ignoră speranța zadarnică de a descrie ce se petrece într-un experiment individual, şi în schimb descrie o colecție imaginară a tuturor lucrurilor care *s-ar putea* petrece în acel experiment. Einstein s-a exprimat foarte clar: „Încercarea de a concepe descrierea cuantică drept descrierea completă a sistemelor individuale duce la interpretări teoretice nenaturale, care devin inutile imediat ce accepți interpretarea că

descrierea se referă la ansambluri (sau colecții) de sisteme, şi nu la sisteme individuale.“[9]

Să considerăm electronul solitar pe orbita sa în jurul unui proton într-un atom de hidrogen. Potrivit adepților interpretării ansamblurilor, unda nu e asociată cu atomul individual, ci cu colecția imaginară de copii ale atomului. Electronii au poziții diferite în membri diferiți ai acestei colecții. Prin urmare, dacă ar fi să observăm atomul de hidrogen, rezultatul ar echivala cu alegerea la întâmplare a unui atom din colecția aceasta imaginară. Unda furnizează probabilitățile de a găsi electronul în fiecare dintre acele locuri.

Ideea aceasta mi-a plăcut multă vreme, dar brusc mi s-a părut cu totul deplasată. Cum ar putea o colecție imaginară de atomi să influențeze o măsurătoare efectuată asupra unui singur atom real? Aceasta ar contrazice principiul că nimic din afara universului nu poate să acționeze asupra unui lucru din interiorul său. Aşa încât m-am întrebat dacă aş putea înlocui acea colecție imaginară cu o colecție de atomi reali. Fiind reali, ei ar trebui să existe undeva în univers. Dar în univers există într-adevăr o mulțime de atomi

de hidrogen. Ar putea fi ei „colecția“ la care se referă interpretarea ansamblurilor a mecanicii cuantice?

Să ne imaginăm că toți atomii de hidrogen din univers participă împreună la un joc. În acest joc, fiecare atom recunoaşte care alți atomi sunt într-o situație similară şi au o istorie similară cu a lui. Prin „similar“ înțeleg că ei sunt descrişi probabilistic de aceeaşi stare cuantică. Două particule în lumea cuantică pot să aibă istorii identice, şi ca atare să fie descrise de aceeaşi stare cuantică, dar să difere prin valorile precise ale ființabilelor [*beables*] lor, ca de exemplu poziția. Atunci când un atom recunoaşte că un alt atom are o istorie similară, el îi copiază proprietățile, inclusiv valorile exacte ale ființabilelor sale. Nu este nevoie ca cei doi atomi să fie aproape unul de altul pentru ca unul să copieze proprietățile celuilalt; trebuie doar ca amândoi să existe undeva în univers.

Acesta e un joc extrem de nelocal, dar ştim că orice teorie cu variabile ascunse trebuie să exprime faptul că fizica cuantică este nelocală. Deşi ideea poate părea ciudată, poate că e mai puțin ciudată decât nişte

colecții imaginare de atomi care influențează atomii reali din lume. Am hotărât aşadar să aplic ideea şi să văd unde duce.

Una dintre proprietățile copiate este poziția electronului în raport cu protonul. Astfel, poziția electronului dintr-un anumit atom va sălta de colo-colo în timp ce copiază pozițiile electronilor din alți atomi din univers. Ca rezultat al acestor salturi, dacă măsor unde este electronul într-un anumit atom, va fi ca şi cum aş alege la întâmplare un atom din colecția tuturor atomilor similari. Prin urmare starea cuantică e înlocuită cu colecția atomilor similari. Pentru ca aceasta să funcționeze, am inventat reguli ale jocului copierii, aşa încât probabilitățile de răspuns al atomului la măsurătoare să fie exact cele conforme cu mecanica cuantică.[10]

Şi am înțeles ceva care mi-a făcut o imensă plăcere: cum ar fi dacă un sistem *nu* ar avea nici o copie în univers? Atunci jocul de-a copiatul nu poate continua, iar mecanica cuantică nu va fi reprodusă. Asta ar explica de ce mecanica cuantică nu se aplică sistemelor complexe mari, ca de pildă pisicile, tu sau eu: suntem unici. Se rezolvă astfel vechile paradoxuri care apar din aplicarea mecanicii cuantice unor lucruri mari precum pisicile şi observatorii.

Proprietățile stranii ale sistemelor cuantice sunt limitate la sistemele atomice, fiindcă acestea există într-un număr mare de copii în univers. Incertitudinile cuantice apar din cauză că aceste sisteme îşi copiază reciproc în permanență proprietățile.

Numesc aceasta *interpretarea ansamblurilor reale* a mecanicii cuantice, dar în notele mele ea apare ca interpretarea Veveriței Albe, numită astfel după o veveriță albinoasă solitară care a fost zărită într-un parc din Toronto. Ne putem imagina că toate veverițele cenuşii sunt suficient de asemănătoare pentru ca mecanica cuantică să li se aplice – uită-te unde este una şi s-ar putea să vezi alta şi alta. Dar veverița albă cocoțată pentru o clipă pe o creangă nu pare să aibă nici o copie, şi ca atare nu este cuantică. La fel ca tine sau ca mine, se poate considera că ea are proprietăți unice care nu sunt împărtăşite sau copiate de la nimic altceva în univers.

Jocul electronilor săltăreți încalcă relativitatea restrânsă. Salturile străbat instantaneu distanțe arbitrar de mari, prin urmare ele necesită o noțiune de evenimente simultane separate prin distanțe mari. Aceasta la rândul ei necesită transmiterea informației cu o viteză mai mare decât a

luminii. Totuşi, predicțiile statistice le reproduc pe cele ale teoriei cuantice, şi deci pot fi puse de acord cu relativitatea. Dar dacă privim în spatele scenei, există o simultaneitate privilegiată, şi deci un timp privilegiat, la fel ca în teoria de Broglie–Bohm.

În ambele teorii cu variabile ascunse pe care le-am prezentat, principiul rațiunii suficiente e satisfăcut. Există o imagine detaliată despre ce se întâmplă în evenimente individuale şi care explică ceea ce mecanica cuantică vede ca incert. Dar prețul – încălcarea principiilor teoriei relativității – este mare.

*

Ar putea exista o teorie cu variabile ascunse compatibilă cu principiile teoriei relativității? Ştim că răspunsul este negativ. Dacă ar exista o asemenea teorie, ea ar încălca teorema liberului-arbitru – o teoremă din care rezultă că e imposibil să determinăm ce va face un sistem cuantic (şi deci nu există teorii cu variabile ascunse) atât timp cât ipotezele teoremei sunt satisfăcute. Una dintre acele ipoteze este relativitatea simultaneității.

Teorema mai sus-menționată a lui John Bell exclude şi teoriile cu variabile ascunse

locale – locale în sensul că ele presupun doar comunicarea cu viteze mai mici decât a luminii.

Dar o teorie cu variabile ascunse *este* posibilă, dacă încalcă relativitatea.

Atâta timp cât doar verificăm predicțiile mecanicii cuantice la nivelul statisticii, nu e nevoie să întrebăm cum au fost stabilite efectiv corelațiile. Numai atunci când încercăm să de-scriem cum e transmisă informația în fiecare pereche corelată cuantic avem nevoie de noțiunea de comunicare instantanee. Numai atunci când încercăm să trecem dincolo de predicțiile statistice ale teoriei cuantice, către o teorie cu variabile ascunse, intrăm în conflict cu relativitatea simultaneității.

Pentru a descrie cum sunt stabilite corelațiile, o teorie cu variabile ascunse *trebuie să adopte definiția simultaneității a unui anumit observator*. Aceasta presupune că există o noțiune privilegiată de repaus. Ceea ce, la rândul ei, presupune că mişcarea e absolută. Mişcarea are o semnificație absolută, fiindcă se poate vorbi la modul absolut despre cine se mişcă în raport cu acel observator – să-l numim Aristotel. Aristotel

este în repaus. Tot ceea ce el vede că se mişcă, se mişcă cu adevărat. Sfârşitul poveştii.

Cu alte cuvinte, Einstein a greşit. Newton a greşit. Galilei a greşit. Nu există nici o relativitate a mişcării.

Avem de ales. Sau mecanica cuantică este teoria finală şi vălul ei statistic nu poate fi străpuns pentru a atinge un nivel descriptiv mai profund, sau Aristotel a avut dreptate şi există o versiune privilegiată a mişcării şi repausului.

14. Timpul renăscut din relativitate

Am văzut că realitatea timpului deschide noi căi pentru a înțelege cum îşi alege universul legile, făcând totodată posibilă o nouă rezolvare a misterelor mecanicii cuantice. Dar mai trebuie să depăşim încă un mare obstacol, care este formidabilul argument din relativitatea restrânsă şi generală în favoarea imaginii universului-bloc. Argumentul acesta conduce la concluzia că reală este doar istoria universului ca un întreg atemporal.[1]

Argumentul în favoarea universului-bloc se bazează pe relativitatea simultaneității, care e un aspect al teoriei relativității restrânse (vezi capitolul 6). Dar dacă timpul este real, în sensul unui moment prezent real, există o graniță între prezentul real şi viitorul încă nereal asupra căreia toți observatorii pot cădea de acord. Aceasta implică o noțiune fizică universală de simultaneitate care include evenimente îndepărtate şi, de fapt, întregul univers. Ea poate fi numită *timp privilegiat global* („global“ însemnând aici

că definiția timpului se extinde pretutindeni în univers). Avem o confruntare directă între argumentul că trebuie să existe un timp privilegiat global şi argumentul că principiile relativității interzic aşa ceva. De asemenea, după cum am văzut în capitolul precedent, un timp privilegiat global e un ingredient necesar al oricărei teorii cu variabile ascunse, ceea ce ar explica alegerile făcute de sistemele cuantice individuale. Aşadar, după cum de asemenea am văzut în capitolul precedent, există un conflict între relativitatea simultaneității şi principiul rațiunii suficiente.

Scopul capitolului de față e să rezolve conflictul în favoarea principiului rațiunii suficiente. Aceasta înseamnă renunțarea la relativitatea simultaneității şi adoptarea contrariului său: existența unui timp global privilegiat. În mod remarcabil, aceasta nu necesită abolirea teoriei relativității; se dovedeşte că o reformulare a sa e suficientă. Esența soluției este un mod nou şi mai profund de a înțelege relativitatea generală, care dezvăluie un nou concept de timp real.

Noțiunea de timp global privilegiat selectează o familie de observatori, răspândiți în tot universul, ale căror ceasuri îl măsoară. Aceasta implică o stare privilegiată

de repaus, amintind de noțiunea aristotelică de repaus sau de eterul din fizica secolului XIX, ambele infirmate de Einstein prin crearea relativității restrânse. Pentru fizicienii dinaintea lui Einstein, eterul era necesar, fiindcă undele de lumină aveau nevoie de un mediu prin care să se propage. Einstein l-a demolat, fiindcă principiul relativității simultaneității implică inexistența eterului, a unei stări de repaus absolut.[2]

Există aici nu doar o contradicție, ci şi un motiv de descurajare. Eliminarea eterului a fost un mare triumf al raționamentului concentrat asupra indolenței în gândire. Era atât de uşor să concepi lumea în termenii lui Aristotel. Galilei şi Newton au stabilit relativitatea sistemelor inerțiale, care a făcut imposibilă detectarea unei stări de repaus privilegiate urmărind mişcarea corpurilor. Dar ideea de repaus ca stare naturală a continuat să pândească tăcută în mințile fizicienilor, permițând eterului să se aciueze atunci când teoreticienii au avut nevoie de un mediu prin care să se propage lumina. Doar Einstein a avut intuiția necesară ca s-o demoleze complet. Şi totuşi se pare că avem motive să revenim la noțiunea de timp global privilegiat. Faptul că aceasta contrazice triumful lui Einstein asupra eterului este o

barieră psihologică pentru a lua în serios argumentele în favoarea realității timpului – sau, cel puțin, aşa a fost în cazul meu.

Înainte de a discuta cum ar putea teoria să rezolve această contradicție, să vedem ce are de spus experimentul. Noțiunea de timp global privilegiat implică un observator privilegiat, al cărui ceas măsoară acel timp privilegiat. Aceasta contrazice relativitatea sistemelor de referință inerțiale, conform căreia nu există nici o metodă experimentală sau observațională de a distinge un observator presupus a se afla în repaus de cei care se mişcă cu o viteză constantă, dar arbitrară.

Primul lucru care trebuie remarcat este că universul e aranjat într-un mod care selectează efectiv o stare privilegiată de repaus. Ştim asta fiindcă, atunci când privim în jur cu telescoapele noastre, vedem că marea majoritate a galaxiilor se îndepărtează de noi cu aproximativ aceeaşi viteză în toate direcțiile. Dar aceasta poate fi adevărat pentru un singur observator, fiindcă cineva care se îndepărtează rapid de noi în spațiu ar vedea galaxiile aflate dinaintea sa, pe care le ajunge din urmă, mişcându-se mai încet decât cele dinapoia sa. Mai mult, avem dovezi solide că galaxiile sunt distribuite

uniform în spațiu, cel puțin atunci când pozițiile lor sunt mediate la o scară suficient de mare – altfel spus, universul pare la fel privit în orice direcție. Din aceste fapte putem deduce că în fiecare punct din spațiu va exista un observator special care vede galaxiile îndepărtându-se de el cu aceeaşi viteză în toate direcțiile.[3] Prin urmare, mişcarea galaxiilor selectează un observator privilegiat, şi deci o stare privilegiată de repaus, în fiecare punct din spațiu.

O altă modalitate de a fixa o familie privilegiată de observatori este de a folosi fondul cosmic de microunde. Aceşti observatori privilegiați văd CMB ca având aceeaşi temperatură în toate direcțiile de pe cer.[4]

Din fericire, cele două familii de observatori privilegiați coincid. În medie, galaxiile par să fie în repaus în acelaşi sistem de referință în care vedem că CMB are aceeaşi temperatură în toate direcțiile. Prin urmare, universul este organizat într-un mod care selectează o stare privilegiată de repaus. Dar faptul acesta nu contrazice neapărat principiul relativității mişcării. O teorie poate avea o simetrie care nu e respectată de soluțiile sale. Dimpotrivă: deseori soluțiile unei teorii îi rup simetriile. Faptul că în mod

fundamental nu există nici o direcție privilegiată în spațiu nu împiedică vântul să bată astăzi dinspre nord. Universul nostru reprezintă doar una dintre soluțiile ecuațiilor relativității generale. Acea soluție poate fi asimetrică – altfel spus, ea poate să includă o stare privilegiată de repaus – fără să contrazică principiul că teoria are o simetrie. Universul ar fi putut porni printr-o rupere a simetriei.

Pe de altă parte, vrem să întrebăm de ce universul se află într-o stare specială aşa încât selectează în mod evident o familie privilegiată de observatori. Acesta e un alt fel de a întreba de ce conditiile initiale ale universului au fost atât de speciale. Este o întrebare la care relativitatea generală nu poate răspunde de una singură – încă un indiciu că există ceva cu privire la univers care scapă acestei teorii. Merită aşadar să luăm în considerare posibilitatea ca starea privilegiată de repaus din univers să reprezinte ceva mai profund. Poate că ea ne spune ceva despre un nivel al fizicii „mai fundamental“ decât relativitatea generală.

Dacă existența unei stări privilegiate de repaus în univers reprezintă ceva mai profund, atunci acea stare trebuie să se manifeste în alte tipuri de experimente. Dar

la scări mai mici decât cea cosmologică, principiul relativității sistemelor inerțiale se verifică foarte bine. Predicțiile teoriei relativității speciale a lui Einstein sunt confirmate de o cantitate formidabilă de dovezi experimentale, dintre care multe pot fi interpretate în sensul că testează dacă există sau nu o stare privilegiată de repaus în natură.[5]

Prin urmare, observațiile ne oferă un mesaj ambiguu. La scara cea mai mare, există dovezi pentru o stare privilegiată de repaus, care trebuie explicată prin ceva special în condițiile inițiale ale universului. Dar la toate scările mai mici, dovezile arată că principiul relativității e suveran. O soluție ingenioasă la această problemă a fost concepută abia de curând. Se dovedeşte că relativitatea generală poate fi reformulată într-un mod elegant ca o teorie cu o noțiune de timp privilegiat. Această reformulare este doar un alt mod de a înțelege relativitatea generală, dar ea dezvăluie o sincronizare privilegiată din punct de vedere fizic a ceasurilor din întregul univers. În plus, alegerea acelei sincronizări privilegiate depinde de distribuția materiei şi a radiației gravitaționale pe tot cuprinsul universului, aşadar nu este o revenire la timpul absolut al

lui Newton. Ea nici nu poate fi descoperită prin măsurători locale, deci e perfect compatibilă cu principiul relativității pentru subsisteme mici ale universului.

Teoria care permite această inversare a perspectivei se numeşte *dinamica formelor* [*shape dynamics*].[6] Conform principiului său fundamental, tot ce este real în fizică are legătură cu formele obiectelor, şi orice schimbare reală constă doar în schimbări ale acelor forme. Mărimea nu are nici o semnificație fundamentală, iar faptul că obiectele par să aibă o mărime intrinsecă e o iluzie.

Dinamica formelor a fost creată urmând un şir de raționamente propus de Julian Barbour, a cărui cosmologie cuantică atemporală a fost discutată în capitolul 7. Barbour este un mare susținător al filozofiei relaționale, iar drumul către dinamica formelor a început cu insistența lui de a face fizica pe cât de relațională cu putință. Mulți dintre paşii esențiali i-a făcut chiar el în ultimul deceniu, împreună cu Niall Ó Murchadha şi câțiva tineri colaboratori, dar piesele finale au fost aşezate în vara şi toamna anului 2010 de un trio de tineri care

lucrau la Institutul Perimeter: doctoranzii Sean Gryb şi Henrique Gomes, şi un cercetător postdoctoral, Tim Koslowski.[7]

Odată ce cunoşti ideile de bază ale teoriei relativității, dinamica formelor e uşor de înțeles, fiindcă acea teorie este un pas următor natural. Să ne amintim unele aspecte ale simultaneității: are sens să spunem despre două evenimente învecinate că se petrec simultan. Le putem de asemenea ordona în timp, iar aceasta are sens, pentru că un eveniment ar putea fi cauza celuilalt. Dar dacă încercăm să ordonăm evenimente care sunt îndepărtate unul de altul, constatăm că nu există o ordine absolută asupra căreia toți observatorii să cadă de acord. Pentru unii observatori, cele două evenimente sunt simultane; pentru alții, un eveniment pare a fi în trecutul celuilalt.

Barbour ne spune că mărimea se comportă în acelaşi fel. În cazul a două obiecte învecinate, are sens să le ordonăm în funcție de mărime: dacă poți pune un şoarece într-o cutie, are sens să spui că şoarecele este mai mic decât cutia. Dacă ai două mingi de fotbal, are sens să spui că ele au acelaşi diametru. Aceste comparații au sens fizic, iar toți observatorii vor fi de acord în privința lor.

Dar acum să ne întrebăm dacă şoarecele de aici este mai mic decât o cutie din galaxia învecinată. Întrebarea aceasta mai are sens? Are ea un răspuns asupra căruia toți observatorii vor cădea de acord? Problema este că, fiind departe unul de altul, nu putem pune şoarecele în cutie pentru a vedea dacă încape.

Ca să răspundem la întrebare, putem deplasa cutia acolo unde se află şoarecele şi să vedem dacă el încape. Dar aceasta răspunde la o altă întrebare, fiindcă acum cutia şi şoarecele sunt în acelaşi loc. De unde ştim că nu există un efect fizic prin care tot ce aducem în galaxia noastră se dilată, aşa încât o cutie de mărimea ochiului unui şoarece devine, pe drum, suficient de mare pentru a cuprinde şoarecele? Am putea lăsa cutia acolo unde se află şi în schimb să trimitem la ea o riglă. Dar de unde ştim că rigla nu suferă efectul invers, contractându-se în timp ce se deplasează de la şoarece la cutia îndepărtată?

Acestea sunt raționamentele care l-au condus pe Barbour şi prietenii săi să propună ideea că nu are sens să comparăm dimensiunile unor obiecte aflate departe unul de altul. Ce putem face este să comparăm formele, deoarece formele nu sunt supuse

aceluiaşi tip de modificare arbitrară. Singura excepție de la relativitatea mărimii este că volumul întregului univers în fiecare moment de timp trebuie să rămână neschimbat. Aceasta nu e uşor de explicat în limbaj netehnic, dar ideea este că dacă într-un loc totul se contractă, atunci trebuie să existe în acelaşi timp o compensare prin care altundeva totul se dilată cu aceeaşi cantitate, aşa încât în ansamblu volumul universului nu se modifică. Desigur, volumul se poate schimba în timp, pe măsură ce universul se extinde.

Deşi dinamica formelor este radicală în privința mărimilor, ea este conservatoare în privința timpului. Există un ritm unic de curgere a timpului. El este acelaşi pretutindeni în univers, şi nu ne este permis să-l modificăm.

Relativitatea generală este oarecum contrariul. Mărimile obiectelor sunt fixe şi rămân fixe atunci când le deplasăm, de aceea are sens să comparăm mărimile lucrurilor îndepărtate. În schimb relativitatea generală e flexibilă în privința scurgerii timpului. Nu are sens să întrebăm dacă un ceas aflat departe de noi merge mai repede sau mai încet decât un ceas aflat aproape de noi, întrucât accelerarea şi încetinirea ceasurilor

îndepărtate sunt printre schimbările asupra cărora observatorii nu vor cădea de acord. Chiar dacă îți sincronizezi ceasul cu un orologiu îndepărtat, ele se pot desincroniza, fiindcă nu are nici un sens fizic ca ritmurile lor să rămână identice.

Pe scurt, în relativitatea generală mărimea este universală şi timpul este relativ, pe când în dinamica formelor timpul este universal şi mărimea este relativă. În mod remarcabil totuşi, aceste două teorii sunt echivalente, deoarece – printr-un truc matematic ingenios pe care n-am să-l descriu aici – relativitatea timpului şi relativitatea mărimii pot fi schimbate între ele. Prin urmare, istoria universului poate fi descrisă în două moduri, în limbajul relativității generale sau în limbajul dinamicii formelor. Conținutul fizic al celor două descrieri va fi acelaşi, iar orice întrebare despre o cantitate observabilă va avea acelaşi răspuns.

Dacă istoria e descrisă în limbajul relativității generale, definiția timpului este arbitrară. Timpul este relativ şi nu are sens să întrebăm cât e ora în locuri îndepărtate. Dar dacă istoria e descrisă în limbajul dinamicii formelor, apare noțiunea de timp universal.

Prețul plătit este că mărimea devine relativă şi nu are sens să comparăm mărimile unor obiecte aflate departe unul de altul.

La fel ca imaginea undă/particulă din teoria cuantică, acesta e un exemplu de ceea ce fizicienii numesc dualitate – două descrieri ale aceluiaşi fenomen, fiecare fiind completă, dar incompatibilă cu cealaltă. Această dualitate specifică este una dintre descoperirile cele mai profunde ale fizicii teoretice contemporane. Ea a fost propusă într-o formă diferită[8] în 1995 de Juan Maldacena în contextul teoriei corzilor, iar de atunci a devenit cea mai influentă idee din acel domeniu. La data când scriu aceste rânduri, relația exactă dintre dinamica formelor şi dualitatea lui Maldacena nu e clară, dar pare probabil să existe o corespondență.[9]

Spre deosebire de ce se întâmplă în relativitatea generală, în teoria dual există un timp privilegiat. Putem folosi faptul că cele două teorii sunt interşanjabile pentru a transfera timpul din lumea dinamicii formelor în lumea relativității generale. Acolo el se manifestă ca un timp privilegiat, ascuns în ecuații.[10]

Noțiunea de timp global implică faptul că pentru fiecare eveniment în spațiu şi timp

există un observator privilegiat al cărui ceas îi măsoară trecerea. Dar acel observator special nu poate fi selectat prin nici o măsurătoare efectuată într-o regiune mică. Alegerea timpului global special este determinată de modul în care e distribuită materia în univers. Aceasta coincide cu faptul că experimentele sunt în acord cu principiul relativității la scări mai mici decât cea a universului. În consecință, dinamica formelor realizează un acord între succesul experimental al principiului relativității şi necesitatea unui timp global cerut de teoriile cu legi care evoluează şi de explicațiile cu variabile ascunse ale fenomenelor cuantice.

Aşa cum am observat, una dintre cantitățile care nu pot fi schimbate atunci când extindem sau contractăm scările dimensiunilor este volumul total al universului la un moment dat. Ceea ce face ca mărimea totală a universului şi expansiunea lui să aibă sens, iar acesta poate fi considerat un ceas fizic universal. Timpul a fost redescoperit.

15. Emergența spațiului

Cel mai misterios aspect al lumii se află chiar sub ochii noştri. Nimic nu e mai obişnuit decât spațiul, dar dacă îl examinăm îndeaproape, nimic nu e mai misterios. Eu cred că timpul este real şi esențial pentru o descriere fundamentală a naturii. Dar cred că probabil spațiul se va dovedi a fi o iluzie de acelaşi gen ca temperatura şi presiunea – un mod util de a organiza impresiile noastre asupra lucrurilor la scară mare, dar numai un mod aproximativ şi emergent de a percepe lumea în ansamblul ei.

Teoria relativității a contopit spațiul cu timpul, ducând la imaginea universului-bloc, în care spațiul şi timpul sunt înțelese ca moduri subiective de a diviza o realitate cvadridimensională. Ipoteza realității timpului eliberează timpul din falsele constrângeri ale acestei unificări. Putem dezvolta ideile noastre despre timp dacă înțelegem că el este foarte diferit de spațiu. Separarea timpului de spațiu eliberează totodată şi spațiul, deschizând calea către o mai bună înțelegere a naturii sale. După cum

vom vedea în capitolul de față, ea duce la ideea revoluționară că spațiul, la nivel cuantic, nu e fundamental, ci emerge dintr-o ordine mai profundă.

Simplul fapt că lumea obiectelor din viața de zi cu zi e organizată în termeni de „aproape“ şi „departe“ este o consecință a două trăsături esențiale ale realității: existența spațiului şi faptul că lucrurile trebuie să fie în apropierea noastră pentru a ne influența (proprietatea pe care fizicienii o numesc caracter local [*locality*]). Lumea este plină de lucruri care reprezintă pericole sau oportunități, dar la un moment oarecare cele mai multe dintre ele nu ne preocupă. De ce? Fiindcă sunt departe de noi. Tigrii din țări aflate dincolo de ocean ne-ar mânca într-o clipă, dar nu trebuie să ne facem griji, fiindcă ei nu sunt în apropierea noastră. Acesta e darul spațiului; aproape totul e foarte departe de noi, şi deocamdată poate fi ignorat.

Imaginați-vă o lume care conține o enormă diversitate de obiecte, fără organizarea spațiului. Orice lucru ar putea influența orice alt lucru în orice moment. Nu ar exista distanță care să țină lucrurile separate.

Prin simțurile noastre, suntem conştienți în mod acut de lucrurile aflate în preajma

noastră. Dar nu sunt multe. Este o trăsătură a spațiului că doar puține lucruri se pot afla în imediata noastră apropiere. Aceasta e o consecință a numărului mic de dimensiuni ale spațiului. Să ne gândim câți vecini locuiesc chiar alături de noi. Numai două familii, câte una de fiecare parte. Dar câți vecini apropiați putem avea? Patru – două familii alături, una peste drum şi una în spate. Dacă locuim într-un apartament de bloc, numărul vecinilor cei mai apropiați creşte la şase, deoarece sunt oameni dedesubtul nostru, iar puştii care se uită la televizor până la trei dimineața sunt chiar deasupra. Numărul vecinilor cei mai apropiați creşte proporțional cu numărul de dimensiuni – doi într-o singură dimensiune, patru în două dimensiuni, şase în trei dimensiuni. Relația e simplă: numărul vecinilor este dublul numărului de dimensiuni.

Prin urmare, dacă am trăi într-un spațiu cu cincizeci de dimensiuni, vecinii noştri cei mai apropiați ar putea fi în număr de o sută. Dar aşa, captivi în trei dimensiuni, dacă vrem să locuim într-o clădire cu o sută de alte familii, trebuie să fie o clădire mare, iar

majoritatea lor nu vor fi vecini apropiați. În trei dimensiuni, avem vecini cu care nu ne întâlnim niciodată.

Fiindcă veni vorba, aceasta e o problemă în planificarea unui institut ştiințific, unde vrem să maximizăm şansele interacțiunilor întâmplătoare între oameni cu idei şi preocupări diferite. Când a fost inaugurat Institutul Perimeter, cu şapte oameni de ştiință, aceasta nu era o problemă; acum, când sunt peste o sută, e o dificultate. Ca fizicieni teoreticieni, am luat în considerare creşterea numărului de dimensiuni ale clădirii pe măsură ce deveneam mai mulți, dar nu i-am putut lămuri pe arhitecți.[1]

Fapt este că suntem captivi într-o lume cu un număr redus de dimensiuni. Aceasta, mai mult decât orice altceva, ne fereşte de tigri, vecini insomniaci cu televizoare şi alte fiare, dar totodată este şi principalul obstacol în încercarea noastră de a ne spori oportunitățile.

Înainte de apariția tehnologiei, faptul că suprafața Pământului e bidimensională i-a menținut pe oameni într-o relativă izolare. Majoritatea oamenilor au întâlnit în decursul vieții doar câteva sute de semeni – cei la care puteau ajunge mergând pe jos. Ei şi-au dat toată silința, organizând petreceri şi sărbători

pentru a spori interacțiunea (la fel cum fac şi oamenii de ştiință) cu satele învecinate, iar câțiva călători îndrăzneți s-au aventurat în străinătate. Dar spațiul a făcut ca aproape toți să ne fim străini unii altora.

Trăim acum într-o lume în care tehnologia a învins limitele inerente vieții într-un spațiu cu un număr mic de dimensiuni. Să considerăm doar efectul telefoanelor mobile. Pot să-l iau pe al meu şi să vorbesc instantaneu cu aproape oricine altcineva, întrucât cinci miliarde din cei şapte miliarde de oameni de pe planetă au telefoane mobile. Tehnologia aceasta a dizolvat efectiv spațiul. Din perspectiva telefoanelor mobile, trăim într-un spațiu cu 2,5 miliarde de dimensiuni, în care aproape toți semenii noştri umani sunt vecinii noştri cei mai apropiați.

Internetul, desigur, a făcut acelaşi lucru. Spațiul care ne separă a fost dizolvat de o rețea de conexiuni care în esență ne apropie pe toți. Într-adevăr, locuim împreună într-un spațiu cu un număr mare de dimensiuni. Devenim rapid o lume în care mulți oameni pot opta să trăiască aproape exclusiv în acel spațiu multidimensional. E nevoie doar de puțin mai multă realitate virtuală – aşa încât, să zicem, un apel pe telefonul mobil să

convoace o hologramă a persoanei apelate, iar holograma ta să fie proiectată acolo unde se află ea.

Într-o lume multidimensională cu un potențial de conectare nelimitat, suntem confruntați cu mult mai multe opțiuni decât în lumea fizică cu trei dimensiuni. O sumedenie de dificultăți cu care se confruntă lumea noastră interconectată se datorează acestei enorme extinderi a posibilităților, iar majoritatea mediilor de socializare care au proliferat sunt con-cepute pentru a le exploata şi administra.

Să ne închipuim un copil crescut în acea lume multidimensională, în care spațiul nu joacă nici un rol. Imaginea lui asupra lumii va fi cea a unei vaste rețele în care un sistem de conexiuni fluide şi dinamice face ca oricine să fie la doar un pas de oricine altcineva. Iar acum să ne imaginăm că cineva întrerupe curentul. Alimentarea cu energie încetează şi cetățenii din rețea se trezesc într-o lume cu mai multe constrângeri şi mai puțin stimulatoare. Ei descoperă că trăiesc realmente în trei dimensiuni şi că spațiul separă majoritatea oamenilor. Numărul vecinilor se restrânge de la cinci miliarde la doar câțiva, iar aproape toți ceilalți sunt dintr-odată foarte departe.

Această imagine e o metaforă pentru modul în care unii fizicieni concep acum spațiul. Noi (da, mă număr printre ei) credem că spațiul este o iluzie şi că adevăratele relații care alcătuiesc lumea sunt o rețea dinamică oarecum asemănătoare cu Internetul sau cu rețelele de telefonie mobilă. Percepem iluzia spațiului pentru că majoritatea conexiunilor posibile sunt întrerupte, împingând totul foarte departe.

Imaginea aceasta rezultă dintr-o clasă de abordări ale gravitației cuantice în care nu spațiul, ci timpul e considerat fundamental. Aceste abordări postulează o structură cuantică fundamentală pentru a cărei definire spațiul nu e necesar. Ideea este că spațiul reprezintă o proprietate emergentă, la fel cum termodinamica emerge din fizica atomilor. Asemenea abordări sunt independente de fundal, deoarece nu presupun existența unei geometrii de fundal fixe. Noțiunea primară e în schimb cea de graf sau de rețea, definite în mod intrinsec, fără raportare la spațiu.

Prima dintre aceste abordări în ordinea elaborării se numeşte *triangulații dinamice cauzale* [*causal dynamical triangulations*], inventată de Jan Ambjorn şi Renate Loll şi perfecționată împreună cu colaboratorii lor.[2] Ea a fost urmată de *grafuri cuantice*

[*quantum graphity*] (numită astfel deoarece propune că entitățile fundamentale ale naturii sunt grafurile), inventată de Fotini Markopoulou[3] şi investigată împreună cu colaboratorii ei.[4] Imaginea intuitivă pe care tocmai am oferit-o, a spațiului care rezultă din întreruperea conexiunilor într-o rețea, i se potriveşte cel mai bine. O a treia abordare – în care există un timp global, considerat fundamental, dar în care spațiul nu este emergent – a fost propusă de Petr Hořava.[5] Anumite abordări ale teoriei corzilor, numite modelul matricial [*matrix-model*], pot fi de asemenea descrise în felul acesta.[6]

Considerând că timpul e fundamental, aceste abordări diferă de mai vechile abordări independente de fundal care postulează că spațiul-timp – în întregime, la fel ca în universul-bloc – trebuie să fie emergent dintr-o descriere „mai fundamentală“ în care nici spațiul, nici timpul nu sunt entități primare. Acestea includ *gravitația cuantică cu bucle* [*loop quantum gravity*], *mulțimile cauzale* [*causal sets*] şi unele abordări ale teoriei corzilor.

Sunt învățăminte de tras din succesele şi eşecurile fiecărui set de abordări. Ele constituie povestea spusă în capitolul de față.

O metaforă utilă care apare în mai multe abordări ale gravitației cuantice este să ne imaginăm că spațiul nu e continuu, ci e o rețea de puncte discrete (vezi figura 13). Particulele se află în nodurile rețelei şi se deplasează prin salturi către vecinii cei mai apropiați. Două particule exercită o forță sau influență una asupra celeilalte numai dacă sunt învecinate. Dacă numărul de dimensiuni ale rețelei e mic, numărul particulelor disponibile pentru interacțiune e mic; el creşte, la fel ca în cazul discuției noastre despre vecinii umani, odată cu creşterea numărului de dimensiuni.

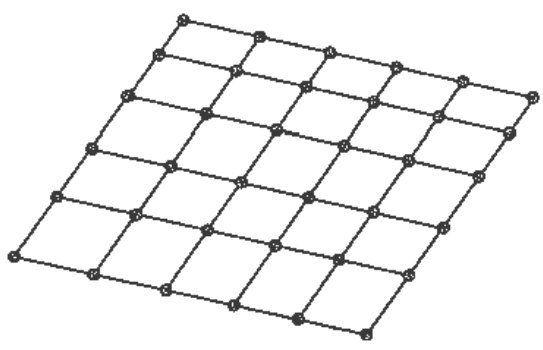


Fig. 13. Spațiul ca o rețea de puncte. O particulă se poate afla doar într- unul dintre noduri, iar mişcarea constă în salturi de la un nod la altul.

Ne putem imagina lumina ca fotoni care se deplasează prin salturi, de la un vecin la următorul, de-a lungul rețelei. A trimite un foton către o particulă îndepărtată presupune multe salturi, şi prin urmare e nevoie de timp.

Să ne imaginăm acum o lume într-o rețea care are mult mai multe conexiuni. Lucrurile sunt mai apropiate unul de altul, în sensul că e nevoie de mai puțini paşi pentru a stabili o legătură prin rețea, deci de mai puțin timp pentru a trimite un semnal între oricare două noduri ale rețelei.

Unul dintre principiile noastre pentru o nouă cosmologie afirmă că nimic nu poate să acționeze fără a suferi la rându-i o acțiune. Prin urmare, dacă rețeaua le spune particulelor cum să se mişte, nu ar trebui ca şi rețeaua să se modifice datorită poziției particulelor? Aceasta ar constitui imaginea unei lumi fizice nu foarte diferită de lumea noastră umană interconectată. Lumea este o rețea dinamică de relații; tot ce există în rețea şi însăşi structura rețelei sunt supuse evoluției. Aceasta e perspectiva asupra lumii în abordările independente de fundal ale gravitației cuantice.

Teoria gravitației cuantice cu bucle este cea mai veche şi cea mai bine dezvoltată dintre abordările independente de fundal ale gravitației cuantice, de aceea să începem povestea cu ea. Gravitația cuantică cu bucle descrie spațiul ca pe o rețea dinamică de relații. O stare cuantică tipică a geometriei spațiului poate fi reprezentată ca un graf –

adică o figură cu numeroase muchii, care unesc între ele noduri (vezi figura 14). Muchiile (care indică un fel de relații primare între noduri) au etichete care specifică relațiile dintre nodurile pe care le conectează. Etichetele pot fi numere întregi obişnuite, câte unul pentru fiecare muchie. (Şi nodurile au etichete, dar definiția lor e mai complicată şi nu-l voi plictisi pe cititor cu asta.)

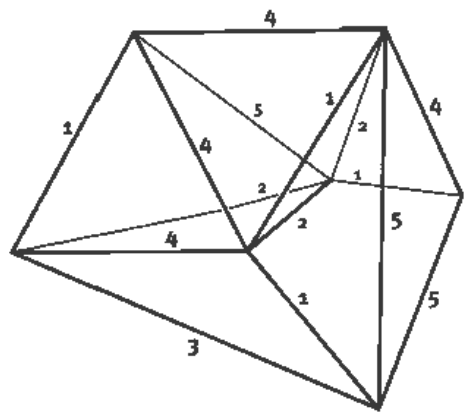


Fig. 14. O stare cuantică tipică a geometriei spațiului, reprezentată ca un graf.

Să ne amintim că în fizica cuantică energia unui atom este cuantificată şi doar anumite stări, cu anumite energii discrete, au valori bine definite ale energiei. Potrivit gravitației cuantice cu bucle, volumele regiunilor spațiale sunt de asemenea cuantificate; ele pot avea doar anumite valori discrete ale volumului. La fel şi ariile suprafețelor.[7] Gravitația cuantică cu bucle face predicții exacte pentru spectrele

volumului şi ariei. Acestea au consecințe care ar putea fi observate – de exemplu, implică predicții exacte pentru spectrul radiației emise de găurile negre mici.[8]

Să considerăm un obiect din oțel – un ac de cusut, să zicem. Arată destul de neted, dar ştim că este alcătuit din atomi într-un aranjament regulat. Dacă privim la scara atomilor, netezimea metalului cedează locul unei imagini alcătuite din unități discrete – atomi – conectați între ei într-un mod regulat. Spațiul de asemenea apare „neted“, sau continuu, dar dacă gravitația cuantică e corectă, atunci şi el este alcătuit din unități discrete, ce pot fi considerate „atomi“ de spațiu. Dacă am putea face observații la scara Planck, am vedea netezimea spațiului transformată în imaginea aceasta.

În relativitatea generală, aşa cum am văzut, geometria spațiului se dovedeşte a fi dinamică. Ea evoluează în timp, ca reacție la mişcarea materiei sau la propagarea undelor gravitaționale. Dar dacă la scara Planck geometria e într-adevăr cuantică, schimbările în geometria spațiului trebuie să provină din schimbări care se produc la acea scară. De exemplu, trebuie să existe oscilații în geometria cuantică a spațiului corespunzând trecerii unei unde gravitaționale. Un triumf al

gravitației cuantice cu bucle este că dinamica spațiului-timp, care în relativitatea generală e dată de ecuațiile lui Einstein, poate fi într-adevăr codificată în reguli simple pentru evoluția în timp a grafurilor.[9] Acestea sunt ilustrate în figura 15.

Codificarea ecuațiilor lui Einstein în reguli de modificare a grafurilor funcționează în ambele sensuri. Putem porni de la teoria lui Einstein şi să urmăm o procedură pentru transformarea unei teorii clasice într-una cuantică. Procedura aceasta a fost dezvoltată şi testată pe multe teorii diferite. Aplicarea ei la relativitatea generală prezintă dificultăți tehnice, dar dacă este efectuată corect duce la imaginea descrisă aici, cu reguli precise pentru modificarea în timp a grafurilor. În acest fel, spunem că gravitația cuantică cu bucle este „cuantificarea“ relativității generale.[10]

Invers, putem porni de la regulile cuantice pentru modificarea grafurilor, şi să întrebăm dacă regulile relativității generale clasice pot fi deduse ca o aproximație a acestora. Este analogul deducerii ecuațiilor care descriu curgerea apei din legile fundamentale urmate de atomii care alcătuiesc apa. Exercițiul acesta se numeşte deducerea teoriei clasice din limita clasică a teoriei cuantice. Este

dificil, dar de curând s-au obținut rezultate pozitive în gravitația cuantică cu bucle.[11] Ele folosesc o abordare spațio-temporală a spațiului-timp cuantic numită modelul spumei de spin [*spin-foam model*], în care se consideră că rețeaua de la baza geometriei spațiului face parte dintr-o rețea mai vastă cuprinzând spațiul şi timpul. Prin urmare, spuma de spin oferă o versiune cuantică a imaginii universului-bloc, în care spațiul şi timpul sunt unificate într-o singură structură. Ceea ce impresionează mai cu seamă e apariția unor rezultate independente care arată că relativitatea generală emerge din modele ale spumei de spin.

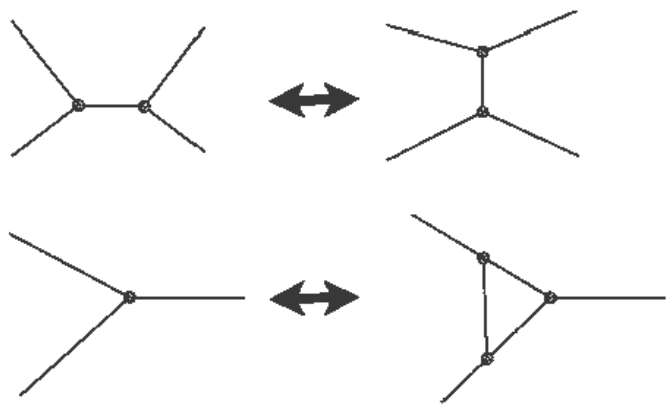


Fig. 15. Reguli pentru evoluția în timp a grafurilor în gravitația cuantică cu bucle. Fiecare mişcare poate să acționeze asupra unei mici porțiuni a grafului, după cum este arătat.

Reprezentarea cuantic-geometrică poate fi lesne completată cu materie. Este aceeaşi poveste ca în modelul reticular, doar că acum rețeaua se poate modifica. Putem plasa

particule în noduri. Ele se deplasează sărind dintr-un nod într-altul, de-a lungul muchiilor, la fel ca în modelul reticular. Dacă privim de la o distanță suficientă, nu vom vedea noduri sau grafuri, ci doar geometria netedă pe care acestea o aproximează. Particula pare atunci că se deplasează prin spațiu. Aşadar, atunci când aruncăm o minge, poate că în realitate atomii din minge sar de la un atom de spațiu la altul.

Totuşi, rezultatele potrivit cărora relativitatea generală emerge din gravitația cuantică cu bucle, oricât de importante ar fi, au anumite limitări. În unele cazuri, descrierea e limitată la o mică regiune din spațiu-timp înconjurată de o graniță. Prezența graniței ne spune că gravitația cuantică cu bucle poate fi cel mai bine concepută ca descrierea unei mici regiuni din spațiu-timp, şi ca atare se încadrează în paradigma newtoniană.

Există de asemenea rezultate din teoria corzilor care sugerează că spațiul-timp poate emerge într-o regiune mărginită – cel puțin atunci când constanta cosmologică ia o valoare negativă. Ele apar în contextul dualității dintre relativitatea generală şi teoria invariantă la schimbarea scării [*scale-invariant theory*] propusă de Juan

Maldacena, pe care am menționat-o în capitolul 14. Dacă conjectura lui e corectă – şi multe rezultate o susțin –, atunci spațiul-timp clasic poate emerge în interiorul unei regiuni a cărei graniță are o geometrie clasică fixă.

Prin urmare, atât gravitația cuantică cu bucle, cât şi teoria corzilor sugerează că gravitația cuantică poate fi înțeleasă ca descrierea unor regiuni mărginite din spațiu-timp, încadrându-se astfel în paradigma newtoniană. Rezultatele cele mai bine fundamentate sunt obținute în contextul fizicii într-o cutie, fără să-şi pună problema dacă descrierea poate fi extinsă la o teorie a întregului univers închis.

O altă presupunere a rezultatelor gravitației cuantice cu bucle privind emergența spațiului-timp este că grafurile care descriu geometria cuantică a spațiului sunt limitate la acelea care deja arată ca o imagine discretă a unui spațiu cu puține dimensiuni.[12] În aceste cazuri, caracterul local [*locality*] al spațiului e exprimat de faptul că fiecare vârf sau nod din graf este conectat doar cu un număr mic de alte noduri. La fel ca într-un cartier suburban, fiecare nod are numai câțiva vecini foarte apropiați. Pentru a se deplasa între două

noduri îndepărtate, o particulă trebuie să facă numeroase salturi. Este nevoie de timp pentru ca o particulă, sau o cuantă purtătoare de informație, să străbată un drum lung. De aceea apare descrierea unei lumi în care lumina are o viteză finită. Totuşi, există multe stări ale geometriei cuantice în care nu apare o versiune elegantă a caracterului local. Există grafuri în care orice nod e conectat cu oricare altul în doar câțiva paşi. Deocamdată, metodele gravitației cuantice cu bucle nu explică cum evoluează aceste geometrii cuantice.

Să considerăm un exemplu în două dimensiuni spațiale – o regiune întinsă a unui plan, aşa cum se arată în figura 13. Planul acesta poate avea o descriere cuantic-geometrică, reprezentată în figură în termenii unui graf. Iar acum să considerăm două noduri care în graf se găsesc la o distanță de mulți paşi unul de altul; le vom numi Ted şi Mary. Putem crea un nou graf din cel vechi adăugând încă o muchie, care-l conectează pe Ted direct cu Mary (vezi figura 16). Aceasta reprezintă o geometrie cuantică în care Mary şi Ted sunt vecini. E ca şi cum amândoi tocmai şi-ar fi cumpărat telefoane mobile; spațiul care-i desparte s-a dizolvat.

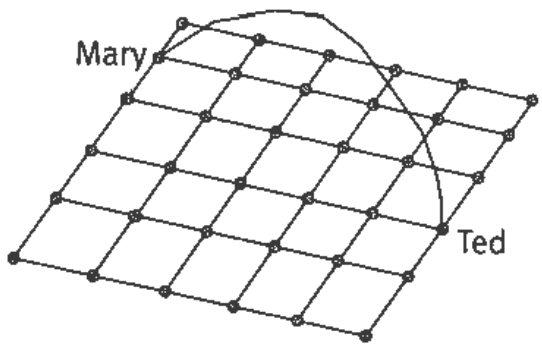


Fig. 16. Adăugarea unei legături nelocale perturbă caracterul local, aducând două puncte îndepărtate aproape unul de altul.

Dacă geometria este într-adevăr cuantică, atunci există pesemne 10^{180} noduri în universul nostru observabil – adică un nod pentru fiecare lungime Planck la cub. Dacă fiecare nod e conectat cu numai câțiva vecini apropiați, geometria cuantică poate să arate, la scară mare, la fel ca o geometrie clasică. Caracterul local al spațiului emerge atunci din tipul particular de geometrie cuantică ce-l reproduce. În cazul acesta, numărul muchiilor şi cel al nodurilor sunt aproximativ egale, deoarece fiecare nod este conectat cu numai câțiva vecini. Dar adăugând o singură muchie la numărul enorm de muchii care alcătuiesc geometria cuantică, încălcăm drastic caracterul local al spațiului, întrucât creăm posibilitatea ca noduri foarte îndepărtate precum Ted şi Mary să comunice

practic instantaneu. Numim aceasta *caracter local perturbat*, iar muchia adăugată o numim *legătură nelocală*.[13]

Este remarcabil de uşor să perturbi caracterul local adăugând o singură legătură nelocală. Aceasta ar fi doar una dintre cele 10^{180} muchii din universul observabil, dar există 10^{360} posibilități de a o introduce. Dacă adăugăm în mod aleatoriu o muchie unui graf cu 10^{180} noduri, e mult mai probabil să adăugăm o legătură nelocală decât una locală, în primul caz numărul posibilităților fiind incomparabil mai mare. Nodul unuia din capete poate fi conectat cu un număr mic de alte noduri dacă vrem să formăm o conexiune locală. Dar dacă nu ne pasă de caracterul local, capătul celălalt poate fi orice nod din univers. Vedem încă o dată ce constrângere enormă reprezintă caracterul local.

Ne-am putea întreba câte legături nelocale pot fi adăugate geometriei cuantice a spațiului înainte să se observe în lumea macroscopică. Deoarece particulele obişnuite au lungimi de undă cuantice cu multe ordine de mărime mai mari decât scara Planck, probabilitatea ca un foton de lumină vizibilă să se afle la capătul unei legături nelocale, aşa încât să poată sări direct de la Ted la

Mary, este foarte mică. Estimări grosiere sugerează că nu mai puțin de 10^{100} asemenea legături nelocale pot fi adăugate înainte ca experimentele să detecteze cu uşurință o comunicare cu viteză mai mare decât cea a luminii. Este un număr imens (dar nici pe departe atât de mare ca 10^{180}). Totuşi, nodurile conectate nelocal cu un alt nod din univers ar fi destul de răspândite; ar exista, în medie, mai mult decât unul pe nanometru cub de spațiu.

Odată ce permitem legături nelocale, caracterul local poate fi perturbat în foarte multe moduri. Pot exista de asemenea puține noduri conectate cu multe alte noduri. Nodurile acestea foarte sociabile ar funcționa la fel ca bârfele într-o rețea socială, canalizând o mulțime de informații pe tot cuprinsul universului şi acționând ca nişte scurtături.

Ar putea fi universul plin cu asemenea conexiuni nelocale? Cum ar putea fi detectată prezența lor?

Iată o idee evidentă: corelația cuantică şi alte manifestări ale caracterului nelocal din teoria cuantică ar putea fi exemple de perturbare a caracterului local. Pesemne că nivelul fundamental al descrierii – în care nu există spațiu, ci doar o rețea de interacțiuni,

fiecare lucru putând fi conectat cu toate celelalte – este teoria cu variabile ascunse pentru a cărei existență am pledat în capitolul 14. În acest caz, teoria cuantică şi spațiul ar emerge împreună.[14]

O altă ipoteză (nu din cale-afară de excentrică) este că legăturile nelocale explică misterioasa energie întunecată care provoacă accelerarea expansiunii universului nostru.[15] O ipoteză mai îndrăzneață, şi mai puțin probabilă, este că ele ar putea explica materia întunecată.[16] Iar una încă şi mai hazardată este că particulele încărcate nu sunt decât capetele legăturilor nelocale.[17] Aceasta aminteşte de o mai veche idee a lui John Wheeler că particulele încărcate electric ar putea fi gurile găurilor de vierme din spațiu, întrucât găurile de vierme sunt mici tuneluri (ipotetice) care conectează poziții din spațiu aflate la foarte mare distanță una de alta. Liniile de câmp ale unui câmp electric se termină pe particule încărcate electric, dar ele par de asemenea să se termine în găuri de vierme, unde (s-ar presupune) traversează tunelul şi ies în celălalt capăt. Un capăt ar acționa ca o particulă cu sarcină pozitivă, iar celălalt ca o particulă cu sarcină negativă.[18] O legătură nelocală ar putea face acelaşi lucru.

Ea ar capta o linie de câmp electric şi ar arăta ca o particulă şi o antiparticulă îndepărtată (vezi figura 17).

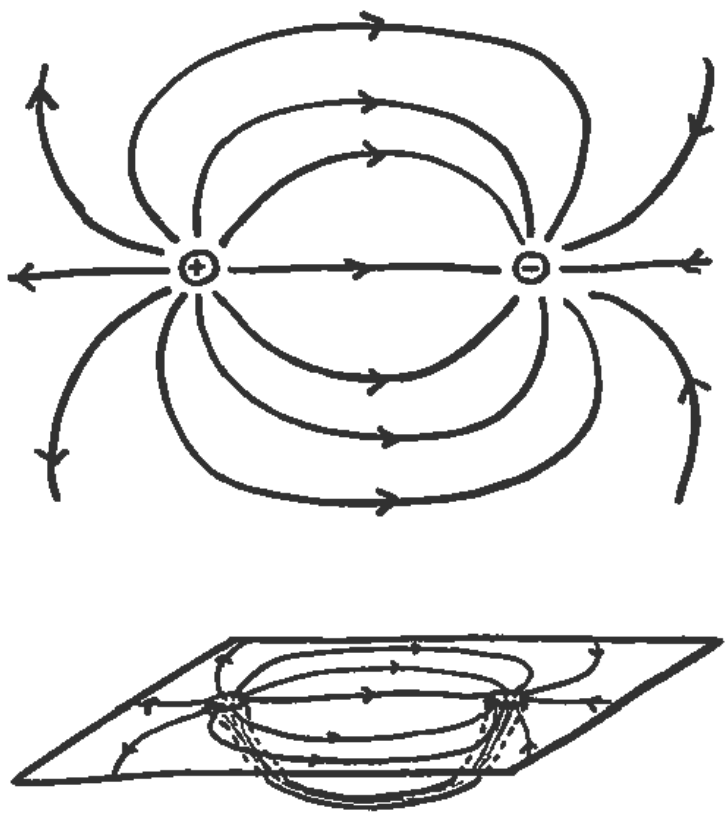


Fig. 17. O legătură pe distanță lungă sub forma unei găuri de vierme care captează o linie de flux electric. În jurul uneia din gurile găurii de vierme este un câmp electric ce pare să provină dintr- un punct, care arată ca o particulă încărcată.

*

Un număr mic de conexiuni nelocale ar putea fi tolerat, şi chiar avantajos, dacă vreuna dintre ideile mai sus-menționate se va dovedi a fi corectă. Dar dacă sunt prea multe, întâmpinăm dificultăți legate de emergența spațiului. Aceasta se numeşte *problema inversă*.

E uşor să aproximăm o anumită suprafață bidimensională netedă – să zicem suprafața

unei sfere – cu o rețea de triunghiuri (vezi figura 18). Un asemenea graf se numeşte triangularea unei suprafețe. Este ceea ce a făcut Buckminster Fuller[16] atunci când a inventat domul geodezic, şi pentru o scurtă perioadă de timp acestea au presărat peisajul, până când oamenii şi-au reamintit avantajele încăperilor pătrate. Dar acum să examinăm problema inversă. Să presupunem că vă dau un număr de triunghiuri şi vă spun să construiți o structură lipindu-le laolaltă, muchie de muchie. Nu vă dau nici o îndrumare; vă spun doar să asamblați suprafața în mod aleatoriu din triunghiuri. Este extrem de improbabil că veți produce o sferă. Probabil veți obține o formă aiurită de felul celor reprezentate în figura 19 – o formă cu țepi sau vreo altă harababură complicată.

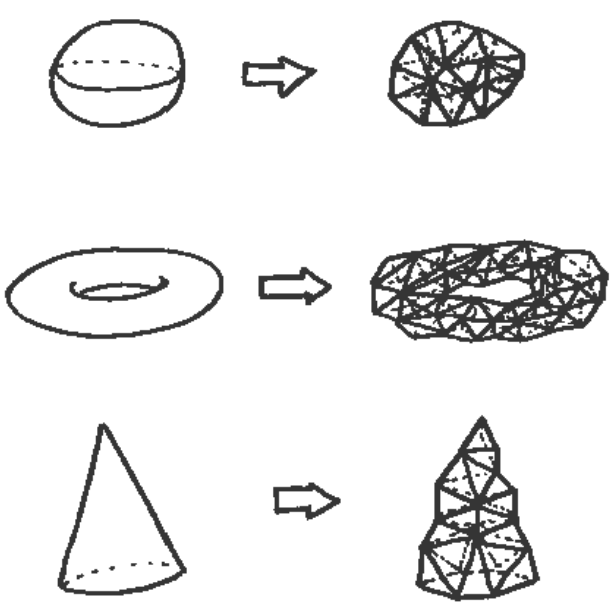


Fig. 18. Triangularea suprafețelor bidimensionale netede.

Problema este că există mult mai multe moduri de a pune triunghiurile laolaltă pentru a obține forme aiurite decât pentru a obține o suprafață sferică bidimensională frumoasă. În toate aceste forme dezordonate, structura atomică iese în evidență, fiindcă e foarte multă complexitate la scara triunghiurilor individuale. Aşa încât nu emerge ceva în genul unui spațiu elegant.

Rezultatele care arată că relativitatea generală emerge din gravitația cuantică cu bucle nu sunt afectate de problema inversă, fiindcă ele se bazează pe o alegere particulară a grafurilor care pot fi construite prin triangularea spațiului. În contextul lor, aceste rezultate sunt impresionante, dar ele nu ne spun cum să descriem evoluția unor grafuri mai generale care ar avea o sumedenie de conexiuni nelocale.

Aceasta subliniază, din nou, cât de restrictiv şi de particular este caracterul local al spațiului. Şi totodată ne învață o lecție importantă. Dacă spațiul emerge dintr-o structură cuantică, atunci trebuie să existe un principiu sau o forță care obligă „atomii“ de spațiu să se asambleze în moduri care limitează aranjamentele posibile la cele care „arată a“ spațiu. În particular, trebuie impusă condiția ca fiecare atom de spațiu să aibă

doar câțiva alți atomi de spațiu în vecinătatea sa – fiindcă asta nu se întâmplă într-o asamblare aleatorie a atomilor de spațiu.

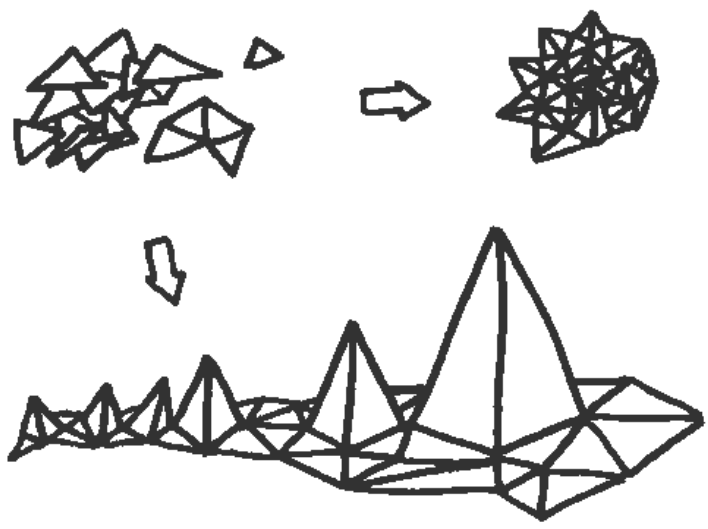


Fig. 19. Geometrii extravagante create prin lipirea laolaltă la întâmplare a laturilor unor triunghiuri.

Am vorbit despre construirea relativității generale cuantice pornind de la gravitația cuantică cu bucle, dar problema inversă afectează şi alte abordări ale gravitației cuantice care implică ideea că spațiul sau spațiul-timp au o structură de tip atomic. Printre acestea se numără abordările numite teoria mulțimilor cauzale, modelele matriciale ale teoriei corzilor şi triangulațiile dinamice. Fiecare posedă trăsături atrăgătoare care i-au îndemnat pe oameni s-o studieze, şi fiecare s-a lovit de problema inversă.

Principala întrebare pe care o ridică aceste abordări este de ce lumea arată ca un spațiu tridimensional, iar nu ca o rețea puternic interconectată.

Ca să înțelegem dificultatea, să ne imaginăm că trăim în rețeaua utilizatorilor de telefoane mobile. Spațiul este inexistent, iar unica noțiune de distanță, sau cine este vecin şi cine nu, este definită de cine pe cine sună. Dacă vorbeşti cu cineva cel puțin o dată pe zi, vă vom considera vecinii cei mai apropiați. Cu cât vorbeşti mai rar cu cineva, cu atât vei fi mai departe de persoana respectivă. Să observăm acum cât de diferită şi cu cât mai flexibilă este noțiunea aceasta de distanță față de distanța în spațiu. În spațiu, aşa cum am văzut, numărul vecinilor potențial cei mai apropiați este acelaşi pentru oricine; în spațiul tridimensional, spre deosebire de o rețea de telefonie mobilă, nimeni nu poate avea mai mulți de şase.

Într-o rețea de telefonie mobilă, eşti de asemenea liber să fii cât de aproape sau cât de departe vrei de oricare alt utilizator din rețea. Dacă ştiu cât de departe eşti de, să zicem, 50.000 de alți utilizatori, asta nu-mi spune nimic despre cât de departe ai putea fi de al 50.001-lea. Următorul utilizator adăugat ar putea fi un străin, sau ar putea fi

mama ta. Dar în spațiu proximitățile sunt rigide. Odată ce mi-ai spus cine sunt vecinii tăi cei mai apropiați, ştiu unde locuieşti. Pot să spun cât de departe eşti de oricine altcineva.

În consecință, e nevoie de mult mai multă informație pentru a preciza cum este conectată o rețea decât pentru a preciza cum sunt aranjate obiectele într-un spațiu bi- sau tridimensional. Pentru a preciza cât de conectați sunt cei 5 miliarde de utilizatori de telefoane mobile, e necesar să dau un bit separat de informație pentru fiecare potențială pereche de utilizatori. Aceasta este aproximativ 5 miliarde la pătrat, care se scrie $2{,}5 \times 10^{19}$. Dar pentru a preciza unde se află fiecare utilizator pe suprafața Pământului, am nevoie de numai două numere pentru fiecare: longitudinea şi latitudinea – adică un fleac de 10 miliarde de numere. Prin urmare, dacă spațiul apare prin decuplarea conexiunilor într-o rețea, atunci există un număr enorm de potențiale conexiuni care trebuie întrerupte.

Cum pot fi decuplate aceste conexiuni?

Abordarea gravitației cuantice prin metoda grafurilor cuantice tratează această problemă presupunând că crearea şi menținerea conexiunilor dintr-o rețea necesită energie. Şi e nevoie de mult mai

puțină energie pentru a forma o rețea bi- sau tridimensională, precum cea din figura 13, decât pentru a forma rețele cu un număr mai mare de dimensiuni. Aceasta sugerează o imagine simplă a universului foarte timpuriu: la început, el era foarte fierbinte, aşa încât exista suficientă energie pentru a activa majoritatea conexiunilor. Universul timpuriu a fost aşadar o lume în care orice lucru era conectat cu oricare altul prin cel mult câțiva paşi. Pe măsură ce universul s-a răcit, conexiunile au început să se întrerupă, până când au rămas doar cele necesare pentru a forma o rețea tridimensională. Acesta e un scenariu pentru emergența spațiului (unii dintre colegii mei vorbesc despre *big freeze* [marele îngheț] în loc de big bang). Procesul a mai fost numit şi *geometrogeneză*.[19]

Geometrogeneza poate explica şi unele caracteristici ale condițiilor inițiale ale universului, de exemplu de ce vedem că fondul cosmic de microunde are aceeaşi temperatură şi acelaşi spectru al fluctuațiilor în toate direcțiile: pentru că inițial universul a fost un sistem puternic interconectat. Geometrogeneza oferă aşadar o alternativă la ipoteza că universul a suferit o inflație colosală la începutul vieții lui.

Firește, diavolul se ascunde în detalii, iar exact cum şi de ce din „marele îngheț“ trebuie să rezulte o structură tridimensională cu aspect regulat, precum rețeaua bidimensională din figura 13, şi nu o structură mai dezordonată, este o întrebare care face obiectul cercetărilor actuale.[20]

*

Se dovedeşte că rezolvarea problemei inverse ne învață două lecții importante despre natura timpului.

Prima este că emergența spațiului e mai probabilă în modelele de univers cuantic care presupun existența unei variabile de timp global. Acest fapt e ilustrat de modelele de triangulație dinamică.

O triangulație este, aşa cum am menționat, o suprafață construită prin alăturarea unui mare număr de triunghiuri, ca într-un dom geodezic (vezi figura 18). Un spațiu tridimensional curb poate fi construit în mod asemănător prin alăturarea unor tetraedre, care sunt analogul tridimensional al triunghiurilor. Un model de triangulație dinamică foloseşte aceste tetraedre ca atomi de spațiu. O geometrie cuantică nu e descrisă de un graf, ci de un aranjament de tetraedre ale căror fețe sunt lipite între ele.[21] O

asemenea configurație a spațiului evoluează în timp, urmând un set de reguli, pentru a forma o versiune triangulată discretă a unui spațiu-timp cvadridimensional (vezi figura 20).

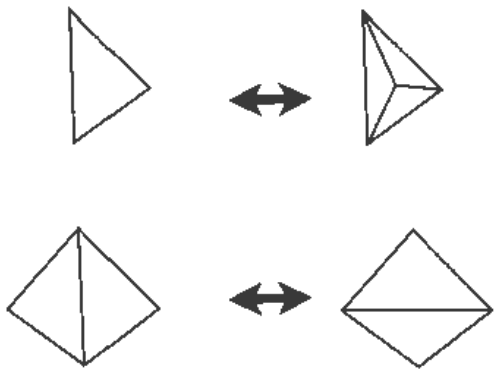


Fig. 20. Reguli de evoluție pentru triangulațiile suprafețelor.

Există două tipuri de abordări prin triangulație dinamică: cele în care spațiul-timp este atomizat şi destinat a fi emergent, ca în imaginea universului-bloc, şi cele în care se presupune o noțiune de timp universal, şi doar spațiul trebuie să fie emergent. Altminteri, construcțiile sunt foarte asemănătoare. Rezultatul este că un spațiu-timp coerent emerge doar în modelele în care se presupune că timpul este real. Celelalte modele – cele fără un timp global – cad victimă problemei inverse: ele sunt copleşite de o infecție de geometrii dezordonate care nu arată nicidecum a spațiu (vezi figura 19).

Modelele care rezolvă problema inversă sunt cele numite triangulații dinamice cauzale, inventate de Ambjørn şi Loll. Aceste spații-timp emergente sunt parțial realiste, în sensul că au trei dimensiuni spațiale şi una temporală (vezi figura 21). Acestea sunt primele exemple de universuri cuantice care, la scară mare, seamănă cu soluțiile teoriei relativității generale a lui Einstein. Ele demonstrează chiar şi că volumul spațiului creşte în timp după cum prevăd ecuațiile lui Einstein.

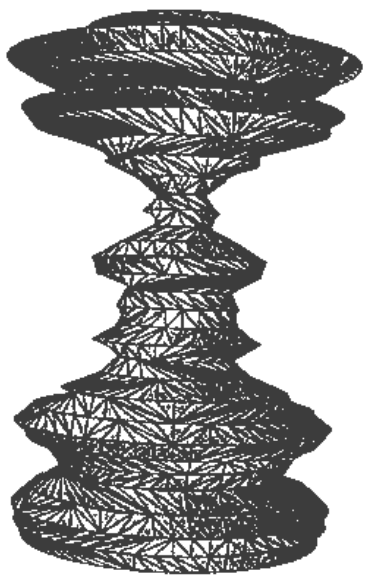


Fig. 21. O geometrie spațio-temporală tipică emergentă dintr- un model de triangulație dinamică cauzală.[22]

Mai rămân unele probleme de rezolvat – de exemplu, dacă aceste spații-timp emergente seamănă suficient de bine cu soluțiile relativității generale pentru a reproduce fenomene precum undele gravitaționale şi găurile negre. Altă

provocare este de a înțelege soarta noțiunii de timp global încorporat în modele. O întrebare veche este dacă prezența timpului global violează simetria temporală multiformă [*many-fingered-time symmetry*] a relativității generale (vezi capitolul 6). Un mod mai nou de a pune această întrebare este dacă relativitatea generală este – sau poate fi, printr-o ajustare a modelului – recuperată în dinamica formelor, care, după cum am văzut în capitolul 14, este o teorie cu un timp global echivalentă relativității generale.

A doua lecție este că, dacă spațiul e emergent, atunci nu poate exista o relativitate a simultaneității la nivelul cel mai profund, fiindcă orice e conectat cu orice altceva. Deoarece putem trimite un semnal între oricare două noduri în doar unul sau câțiva paşi, sincronizarea ceasurilor nu este o problemă. Prin urmare, la acel nivel, timpul trebuie să fie global.

Această lecție e ilustrată de rezultatele din modelele de grafuri cuantice. Aici cadrul este un graf cu un număr mare de noduri, oricare două dintre ele fiind sau conectate, sau nu. Geometriile cuantice includ atunci orice graf care poate fi de-senat conectând toate nodurile. O lege dinamică cuplează sau decuplează conexiunile. Au fost studiate mai

multe modele în care diferite legi se presupune că cuplează sau decuplează muchiile. Aceste modele au două faze, analoage cu două faze ale apei. Există o fază la temperatură înaltă, în care aproape toate muchiile sunt active, aşa încât fiecare nod e strâns conectat cu oricare altul în unul sau doar câțiva paşi. Nu există caracter local, deoarece informația poate sări cu uşurință şi rapid între oricare două noduri. În această fază a modelului nu există nimic asemănător spațiului. Dar dacă modelul e răcit, are loc o tranziție de fază către o fază înghețată, în care aproape toate muchiile se decuplează. La fel ca într-un spațiu cu puține dimensiuni, fiecare nod are doar câțiva vecini foarte apropiați, şi e nevoie de multe salturi între majoritatea perechilor de noduri.

Într-un model de grafuri cuantice se poate introduce şi materie. Particulele există în noduri şi pot sări de la un nod la altul numai dacă muchiile care le conectează sunt active. Poate fi postulată o dinamică ce include principiul acțiunii reciproce, prezent şi în relativitatea generală, potrivit căruia geometria îi spune materiei unde se poate mişca, iar materia îi spune geometriei cum poate evolua. Aceste modele prezintă unele trăsături ale emergenței spațiului şi posedă de

asemenea fenomene de tip gravitațional, ca de exemplu nişte analoage ale găurilor negre cuantice, unde particulele pot fi captive perioade lungi de timp. Aceste regiuni de tip gaură neagră nu sunt permanente; ele se evaporă lent într-un mod care aminteşte de procesul de evaporare a găurilor negre descoperit de Stephen Hawking.

Mai este încă mult de lucru la aceste modele până să putem conchide că ele sunt realiste – însă chiar aşa simple cum sunt, ele au adus deja un enorm beneficiu euristic. Ele arată că dacă orice poate fi conectat cu orice altceva, atunci trebuie să existe un timp global. În relativitatea restrânsă, relativitatea simultaneității este o consecință a caracterului local. E imposibil de stabilit dacă evenimente îndepărtate sunt simultane, deoarece viteza luminii impune o limită superioară pentru transmiterea semnalelor. În relativitatea restrânsă, putem stabili simultaneitatea numai dacă două evenimente sunt în acelaşi loc. Dar într-un univers cuantic, în care orice particulă se poate afla la numai un pas de oricare alta, totul este esențialmente „în acelaşi loc“. Într-un asemenea model, sincronizarea ceasurilor nu-i o problemă, prin urmare există un timp universal.

Emergența spațiului într-un asemenea model e însoțită de emergența caracterului local şi de existența unei viteze limită pentru transmiterea semnalelor. (Lucrul acesta a fost demon-strat amănunțit în modelele de grafuri cuantice.[23]) Dacă examinăm doar fenomene din spațiul-timp emergent şi nu sondăm până la scara atomilor de spațiu-timp, relativitatea restrânsă va părea aproximativ valabilă – ceea ce întăreşte principala lecție desprinsă din modelele şi teoriile prezentate în acest capitol: *Poate că spațiul este o iluzie, dar timpul trebuie să fie real.*

Înțelegerea gravitației cuantice avansează permanent. Sunt multe aspecte valoroase în toate abordările discutate aici. Fiecare ne spune ceva important despre eventualele fenomene cuantic-gravitaționale ce ar putea fi observate în natură, precum şi despre consecințele diferitelor ipoteze, despre dificultățile cu care se confruntă fiecare şi posibilele strategii pentru a le depăşi. Abordările cele mai reuşite fie se încadrează în paradigma newtoniană, şi ne vorbesc despre spații-timp cuantice într-o cutie, fie, dacă răspund provocării cosmologice, ne vorbesc despre realitatea timpului.

16. Richard Buckminster Fuller (1895–1983), inginer şi arhitect american, inventatorul domului geodezic, formă aproape sferică a cărei suprafață este aproximată de poligoane regulate; este singurul tip de clădire fără limitări de dimensiuni şi care poate fi amplasată direct pe pământ ca o structură completă (n. tr.).

16. Viața şi moartea universului

Ne întoarcem acum către cea mai importantă şi mai dificilă întrebare pe care o putem pune despre univers: de ce este prielnic vieții? Vom vedea că răspunsul, în mare parte, se bazează pe realitatea timpului.

Dacă într-adevăr timpul este real, atunci trebuie să existe trăsături ale universului care sunt explicabile numai presupunând că timpul e fundamental. Aceste trăsături trebuie să pară misterioase şi fortuite dacă presupunem contrariul – că timpul este emergent. Există asemenea trăsături; ele sunt evidențiate de observația că universul nostru are o istorie în care evoluează de la simplu la complex. Aceasta conferă timpului o direcționalitate pronunțată – spunem că universul are o săgeată a timpului. Direcționalitatea e extrem de improbabilă într-o lume în care timpul este neesențial şi emergent.

Priviți în jur. Cu ochiul liber sau cu cel mai puternic telescop, vedem un univers extrem de structurat şi de complex.

Complexitatea este improbabilă. Ea necesită o explicație. Nimic nu poate sări imediat de la o organizare simplă la una foarte complexă. O complexitate mare necesită o serie de paşi mici. Aceştia au loc succesiv, ceea ce implică o ordonare rigidă în timp a evenimentelor.

Toate explicațiile ştiințifice ale complexității necesită o istorie, pe durata căreia nivelurile de complexitate au crescut lent şi cumulativ. Este ceea ce Richard Dawkins numea urcarea muntelui improbabilității.[1] Aşadar universul trebuie să aibă o istorie care s-a desfăşurat în timp. Este nevoie de o ordine cauzală care să explice cum a ajuns universul în starea sa actuală.

Potrivit fizicienilor din secolul XIX şi unora dintre cosmologii speculativi contemporani care adoptă perspectiva atemporală, complexitatea pe care o vedem în jur e accidentală şi în mod inevitabil temporară. În viziunea lor, universul e sortit să sfârşească într-o stare de echilibru. Aceasta este o stare, numită *moartea termică a universului*, în care materia şi energia sunt uniform distribuite în întregul univers şi nimic nu se întâmplă cu excepția unor rare fluctuații aleatorii.[2] De cele mai multe ori aceste fluctuații aleatorii se disipează imediat

ce apar, fără să construiască nimic. Dar, aşa cum voi explica în capitolul acesta şi în următoarele, principiile pentru o nouă teorie cosmologică expuse în capitolul 10 ne vor ajuta să înțelegem de ce un univers cu o complexitate în creştere este natural şi necesar.

Prin urmare, două drumuri diferite se deschid înaintea noastră, ducând la versiuni radical diferite privind viitorul universului. În prima perspectivă, nu există viitor, pentru că nu există timp. Timpul este o iluzie care în cel mai bun caz reprezintă o măsură a schimbării, o iluzie care se va sfârşi atunci când va înceta schimbarea.

În perspectiva dependentă de timp pe care o propun eu, universul este un proces pentru producerea de noi fenomene şi stări de organizare, care se va regenera veşnic pe măsură ce evoluează spre stări tot mai complexe şi mai organizate.

Registrul observațional ne spune fără echivoc că universul devine tot mai interesant odată cu trecerea timpului. Inițial el a fost umplut cu o plasmă în echilibru; de la începuturile cele mai simple, el a evoluat către o complexitate enormă într-o gamă largă de dimensiuni, de la roiuri de galaxii la molecule biologice.[3]

Persistența şi creşterea tuturor acestor structuri şi a complexității sunt deconcertante, fiindcă exclud explicația cea mai simplă pentru structura pe care o vedem – anume că este un aranjament întâmplător. O întâmplare nu ar produce structuri care au persistat miliarde de ani şi a căror complexitate a sporit permanent în timp. Aşa cum voi explica numaidecât, dacă complexitatea pe care o vedem în jurul nostru ar fi întâmplătoare, aproape sigur ea ar scădea în timp, în loc să crească.

Predicția că universul va sfârşi în moarte termică este încă un pas către eliminarea timpului din fizică şi cosmologie, şi e înrudit cu vechea idee că starea naturală a universului este imuabilă. Conform celor mai vechi idei din gândirea cosmologică, starea naturală a lumii este echilibrul – o stare în care, dat fiind că totul se află în locul său natural, nu există vreun imbold către organizare. Aceasta a fost esența cosmologiei aristotelice, care, aşa cum am arătat în capitolul 2, se baza pe o fizică în care fiecare esență are o mişcare naturală: de exemplu, pământul tinde spre centru, în vreme ce mişcarea naturală a aerului este în sus.

Singurul motiv pentru care mai există schimbare pe tărâmul pământesc, potrivit lui

Aristotel, este că mai sunt şi alte cauze ale mişcării, clasificate ca mişcări impuse, capabile să scoată un lucru din starea lui naturală. Oamenii şi animalele sunt surse de mişcări impuse, dar mai există şi altele. Apa fierbinte include aer, aşa încât preia în parte mişcarea naturală ascendentă a aerului şi se ridică până când se răceşte, moment în care expulzează aerul şi cade sub formă de ploaie. Sursa ultimă a mişcării impuse este căldura provenind de la Soare, care aparține tărâmului ceresc. Într-un fel sau altul, sursa tuturor mişcărilor impuse este Soarele. Dacă sfera terestră ar fi deconectată de cer şi lăsată de una singură, totul ar ajunge în echilibru, în repaus în locul său natural, iar schimbarea ar înceta.

Fizica modernă are propria sa noțiune de echilibru, caracterizată de legile termodinamicii. Acestea se aplică fizicii într-o cutie. Contextul pentru legile termodinamicii este un sistem izolat, care nu schimbă cu mediul înconjurător nici energie, nici substanță.

Trebuie să fim totuşi atenți să nu confundăm noțiunile de echilibru ale lui Aristotel sau Newton cu noțiunea modernă de echilibru termodinamic. La Aristotel şi Newton, echilibrul este un rezultat al

compensării forțelor. Un pod rămâne în picioare fiindcă forțele acționând asupra fiecărei grinzi şi fiecărui nit se compensează. Noțiunea de echilibru în termodinamica modernă este complet diferită. Ea se aplică unor sisteme cu un număr foarte mare de particule şi apelează în mod esențial la noțiunea de probabilitate.

Înainte de a vorbi despre moartea termică a universului, trebuie să ne asigurăm că înțelegem termenii. Asta presupune, în primul rând, să înțelegem semnificația *entropiei* şi a *legii a doua a termodinamicii*.

*

Pentru a înțelege termodinamica modernă, esențial e faptul că ea implică două niveluri de descriere. Există nivelul microscopic, care presupune descrierea exactă a pozițiilor şi mişcărilor tuturor atomilor din orice sistem. Aceasta se numeşte *micro-stare*. Există apoi nivelul macroscopic, sau *macrostarea* sistemului, care presupune o descriere generală aproximativă în termenii câtorva variabile, cum ar fi temperatura şi presiunea unui gaz. A studia termodinamica unui sistem presupune a stabili relația dintre aceste două niveluri de descriere.

Un exemplu simplu este o clădire obişnuită din cărămidă. Macrostarea în cazul acesta este proiectul arhitectural; microstarea este poziția exactă a fiecărei cărămizi. Arhitectul trebuie să precizeze doar că se construiesc ziduri din cărămidă având cutare şi cutare dimensiuni, cu deschizături pentru ferestre şi uşi. Nu e nevoie ca el să indice poziția fiecărei cărămizi. Majoritatea cărămizilor sunt identice, astfel încât structura nu e afectată dacă două cărămizi identice sunt schimbate între ele. Există aşadar un număr enorm de microstări diferite care produc aceeaşi macrostare.

Să comparăm aceasta cu o clădire proiectată de Frank Gehry[17], de pildă Muzeul Guggenheim din Bilbao, a cărui suprafață exterioară e alcătuită din plăci de metal făurite individual. Pentru a forma suprafețele curbe din proiectele lui Gehry, fiecare placă trebuie să fie diferită, iar poziția ei contează. Construcția va lua forma intenționată de arhitect numai dacă fiecare placă de metal în parte este aşezată în locul ei precis. Şi de data asta proiectul arhitectural precizează macrostarea, iar poziția fiecărei plăci constituie microstarea. Dar spre deosebire de o clădire tradițională din cărămidă, nu avem

nici o libertate să intervenim în microstare. Există o singură microstare care produce macrostarea dorită.

Conceptul numărului de microstări care pot să producă aceeaşi macrostare ne permite aşadar să explicăm de ce clădirile lui Gehry sunt atât de revoluționare. Conceptul acesta poartă un nume – *entropie*. Entropia unei clădiri este o măsură a numărului de moduri diferite în care pot fi asamblate componentele pentru a realiza proiectul arhitectului. O clădire obişnuită de cărămidă are o entropie foarte mare. O clădire proiectată de Frank Gehry poate avea entropie zero, corespunzând singurei sale microstări.[4]

Se vede din acest exemplu că *entropia este inversul informației*. E nevoie de foarte multă informație pentru a preciza proiectul unei clădiri Gehry, fiindcă trebuie să spui exact cum să fie fabricată fiecare piesă şi exact unde să fie aşezată. E nevoie de mult mai puțină informație pentru a preciza proiectul unei clădiri obişnuite de cărămidă, fiindcă tot ce trebuie ştiut sunt dimensiunile pereților.

Să vedem cum funcționează metoda aceasta într-un exemplu mai tipic din fizică. Să considerăm un recipient plin cu gaz

constând dintr-un număr foarte mare de molecule. Descrierea fundamentală este microscopică: ea spune unde se găseşte fiecare moleculă şi cum se mişcă. Aceasta e o cantitate enormă de informație. Există apoi o descriere macroscopică, în care gazul este descris în termenii densității, temperaturii şi presiunii sale.

Pentru a specifica densitatea şi temperatura este nevoie de mult mai puțină informație decât pentru a spune unde se află fiecare atom. În consecință, de la descrierea microscopică se poate trece cu uşurință la cea macroscopică, dar nu şi vice-versa. Dacă ştim unde se află fiecare moleculă şi cum se mişcă, ştim densitatea şi temperatura, care este energia cinetică medie. Dar a merge în sens invers e imposibil, fiindcă există foarte multe aranjamente microscopice diferite ale atomilor individuali din care rezultă aceeaşi densitate şi temperatură.

Pentru a trece de la microstare la macrostare, este util să numărăm câte microstări sunt compatibile cu o macrostare dată. La fel ca în exemplul cu clădirile, numărul acesta e dat de *entropia* configurației macroscopice. De reținut că definită în felul acesta, entropia este o proprietate doar a descrierii macroscopice.

Ea este aşadar o proprietate emergentă; nu are sens să atribuim o entropie unei anumite microstări a sistemului.

Pasul următor constă în a lega entropia de probabilitate. În acest scop se face o presupunere, anume că toate microstările sunt la fel de probabile. Acesta este un postulat fizic, justificat de faptul că atomii dintr-un gaz sunt în mişcare haotică, ceea ce tinde să amestece şi deci să distribuie aleatoriu mişcările. Cu cât sunt mai multe moduri de a forma o macrostare din microstări – sau, altfel spus, cu cât entropia macrostării este mai mare – cu atât e mai probabil ca ea să fie realizată. Macrostarea cea mai probabilă, în condițiile în care microstarea este aleatorie, se numeşte starea de echilibru. Echilibrul este totodată starea cu cea mai mare entropie.

Descompuneți o pisică în atomii ei componenți şi amestecați acei atomi la întâmplare cu aerul din încăpere. Există mult mai multe microstări în care atomii pisicii sunt amestecați la întâmplare în aer decât microstări în care pisica este reasamblată şi stă pe canapea, lingându-şi blana şi torcând. Pisica este un mod extrem de improbabil de aranjare a atomilor, întrucât are o entropie

scăzută şi foarte multă informație, comparativ cu un amestec aleatoriu al aceloraşi atomi în aer.

Atomii dintr-un gaz se mişcă haotic, ciocnindu-se frecvent între ei. Când se ciocnesc, atomii ricoşează în direcții mai mult sau mai puțin întâmplătoare. Timpul tinde aşadar să amestece între ele microstările. Dacă microstarea inițială nu este întâmplătoare, ea va deveni astfel foarte curând. Aceasta sugerează că dacă pornim de la o altă stare decât cea de echilibru, cu o entropie scăzută, lucrul cel mai probabil care se va întâmpla cu trecerea timpului este că microstarea devine mai aleatorie, mărind entropia. Acesta este enunțul *legii a doua a termodinamicii*.

Pentru a vedea cum funcționează ea, să considerăm în continuare un experiment simplu. Avem nevoie de un pachet de cărți de joc şi un dispozitiv care să le amestece. Să presupunem că la începutul experimentului cărțile sunt în ordine. După aceea, tot ce se întâmplă este că o dată pe secundă cărțile sunt amestecate. Experimentul constă în a observa ce se întâmplă cu ordinea cărților când sunt amestecate în mod repetat.

La început, cărțile de joc sunt ordonate, dar fiecare amestecare face ca ordinea să

devină din ce în ce mai aleatorie. Entropia tinde să crească. După un număr suficient de amestecări, ordinea nu mai poate fi distinsă de una pur aleatorie; în consecință, orice amintire a ordinii inițiale este ireversibil pierdută.

Tendința ordinii de a se disipa în dezordine e exprimată de legea a doua a termodinamicii. În acest context, legea afirmă că amestecarea unui pachet de cărți de joc va tinde să distrugă orice ordine specială pe care o vor fi avut inițial cărțile, înlocuind-o cu o ordine aleatorie.

Entropia nu creşte întotdeauna. Din când în când, o amestecare va reduce entropia – de exemplu, reaşezând cărțile în ordinea inițială. Doar că este mult mai probabil ca o amestecare a unui pachet ordonat să sporească entropia decât s-o reducă. Cu cât sunt mai multe cărți de joc în pachet, cu atât e mai puțin probabil ca o amestecare să producă o reordonare completă, şi deci cu atât mai lungi vor fi intervalele dintre amestecurile care ordonează complet pachetul. Cu toate acestea, atâta vreme cât numărul cărților de joc din pachet este finit, există un timp după care e probabil ca amestecurile, având loc în ritmul de unul pe secundă, să producă o reordonare completă.

Acesta se numeşte *timpul de recurență al lui Poincaré*. Dacă urmărim un sistem pe intervale de timp mult mai scurte, probabil vom vedea doar că entropia creşte. Dar dacă urmărim sistemul pe o durată mai lungă decât timpul de recurență al lui Poincaré, vom asista probabil şi la o scădere a entropiei.

Povestea despre rolul întâmplării în ordonarea cărților de joc poate fi transferată asupra gazului. Există configurații ordonate ale atomilor de gaz, de pildă acelea în care toți atomii sunt într-o parte a cutiei şi se mişcă în aceeaşi direcție. Aceste configurații sunt analoage cu cele în care toate cărțile de joc sunt ordonate. Dar, deşi aceste configurații ordonate ale atomilor există, ele sunt mult mai rare decât configurațiile în care atomii sunt dispuşi la întâmplare în toată cutia şi se mişcă în direcții întâmplătoare.

Dacă inițial toți atomii sunt într-un colț al cutiei şi toți se deplasează în acelaşi fel, vom vedea că, pe măsură ce se mişcă şi se împrăştie ciocnindu-se unii de alții, ei se răspândesc în cutie, umplând-o în întregime. După un anumit timp, pozițiile atomilor vor fi complet amestecate, aşa încât densitatea atomilor în cutie devine uniformă.

Aproximativ în acelaşi ritm, direcțiile în care se mişcă atomii şi energiile lor se vor distribui aleatoriu datorită ciocnirilor. În cele din urmă, majoritatea atomilor vor avea o energie apropiată de cea medie, care este temperatura.

Indiferent cât de ordonată şi de neobişnuită este configurația inițială, după o vreme densitatea şi temperatura atomilor din cutie vor fi uniforme şi aleatorii. Aceasta e starea de echilibru. Odată ce gazul a ajuns la echilibru, cel mai probabil el va rămâne acolo.

În acest context, legea a doua a termodinamicii spune că pe durate scurte de timp cea mai probabilă variație a entropiei este un număr pozitiv, sau cel puțin zero. Dacă pornim cu o configurație de neechilibru, pornim cu o configurație având o probabilitate mai mică, şi deci o entropie mai scăzută. Lucrul cel mai probabil care se va întâmpla este că configurația devine mai aleatorie din cauza ciocnirilor dintre atomi, mărindu-i aşadar probabilitatea. Drept urmare, entropia creşte. Dacă pornim din starea de echilibru, în care entropia e maximă deoarece configurația este deja aleatorie, cel mai probabil configurația va rămâne aleatorie. Dar dacă urmărim atomii pe o

perioadă foarte lungă de timp, vor exista, aşa cum am menționat, fluctuații improbabile care duc gazul într-o stare mai ordonată. Cele mai probabile dintre aceste fluctuații sunt subtile: o densitate doar un pic mai mare într-un loc şi un pic mai mică altundeva. Mult mai puțin probabile vor fi fluctuațiile care readuc toți atomii într-un colț al cutiei. Dar dispunând de suficient timp, şi acestea vor apărea. Dacă numărul atomilor e finit, vor exista fluctuații care duc la orice configurație, indiferent cât de rară.

Dar nu e nevoie să aşteptăm pentru a vedea efecte fizice ale fluctuațiilor. Într-un studiu faimos, Einstein a folosit agitația moleculelor dintr-un lichid pentru a demonstra existența atomilor. El a emis ipoteza că un lichid, cum ar fi apa, este alcătuit din molecule aflate în mişcare aleatorie, şi a calculat efectul acestor mişcări asupra unei mici particule, precum un grăunte de polen, suspendată în apă. Moleculele de apă sunt prea mici pentru a putea fi văzute, dar influența lor e vizibilă în mişcarea grăuntelui, care este destul de mare pentru a fi văzut la microscop. Grăuntele este ciocnit din toate părțile de molecule, făcându-l să intre într-un fel de dans aleatoriu.

Măsurând cât de energic dansează grăuntele de polen, se poate deduce câte molecule îl ciocnesc într-o secundă şi cu ce forță. Într-unul dintre articolele sale din 1905, Einstein a făcut predicții testabile, ulterior confirmate, despre proprietățile atomilor, inclusiv numărul de atomi dintr-un gram de apă.[5] Din acesta şi multe alte experimente similare, ştim că asemenea fluctuații sunt reale şi fac parte din povestea termodinamicii.

Fluctuațiile rezolvă un paradox major care a dat de furcă primelor studii de termodinamică. Inițial, legile termodinamicii au fost introduse fără notiunile de atom sau probabilitate. Gazele şi lichidele au fost tratate ca substanțe continue, iar entropia şi temperatura au fost definite fără a folosi noțiunea de probabilitate, ca şi cum ar fi avut o semnificație fundamentală. În formularea aceasta originară, legea a doua afirma pur şi simplu că în orice proces entropia sau creşte, sau rămâne constantă. O altă lege afirma că atunci când entropia este maximă, un sistem are aceeaşi temperatură peste tot.

La jumătatea secolului XIX, James Clerk Maxwell şi Ludwig Boltzmann au dezvoltat ipoteza că materia e alcătuită din atomi care se mişcă la întâmplare, şi au încercat să

deducă legile termodinamicii aplicând metodele statisticii la mişcările unui număr mare de atomi. De exemplu, ei au propus ideea că temperatura nu e decât energia medie a mişcării atomice aleatorii. Ei au introdus entropia şi legea a doua foarte asemănător felului în care am procedat eu aici.

Dar majoritatea fizicienilor de atunci nu credeau în existența atomilor. Prin urmare, ei au respins aceste eforturi de a întemeia legile termodinamicii pe mişcarea atomică, şi au inventat argumente puternice pentru a dovedi că ele nu pot fi deduse din acea mişcare. Un astfel de argument decurgea după cum urmează: Legile de mişcare ale atomilor (dacă aceştia există) trebuie să fie reversibile în timp (aşa cum am văzut în capitolul 5). Dacă filmezi un grup de atomi mişcându-se conform legilor lui Newton şi derulezi filmul invers, obții tot o istorie posibilă, compatibilă cu legile lui Newton. Dar legea a doua a termodinamicii nu e reversibilă, deoarece afirmă că întotdeauna entropia creşte sau rămâne constantă, dar nici-odată nu scade. Este imposibil, au argumentat scepticii, ca o lege care nu e reversibilă în timp să poată fi

dedusă din legi reversibile – adică acelea care guvernează mişcările presupuşilor atomi.

Răspunsul corect la aceasta a fost dat de tânărul cuplu Paul şi Tatiana Ehrenfest, care erau protejații lui Boltzmann şi ulterior au devenit prieteni cu Einstein.[6] Ei au demonstrat că legea a doua, aşa cum a fost formulată în fizica preatomică, era greşită. Uneori entropia scade, doar că este improbabil. Dacă aştepți suficient de mult timp, sporadic fluctuațiile vor reduce entropia unui sistem. Fluctuațiile sunt aşadar o parte necesară a poveştii despre felul în care a fost reconciliată termodinamica cu existența atomilor care se supun unor legi fundamentale reversibile în timp.

Însă chiar imaginea corectă pare lipsită de speranță pentru viitor, fiindcă, pe baza acestor principii, orice sistem izolat va ajunge în cele din urmă la echilibru – după care nu mai există nici o schimbare cumulativă semnificativă, nici o creştere a structurii sau complexității, ci doar un echilibru infinit în care nu se întâmplă nimic altceva decât fluctuații aleatorii.

Un univers în echilibru nu poate fi complex, deoarece procesul aleatoriu care-l aduce la echilibru distruge organizarea. Dar

asta nu înseamnă că complexitatea însăşi poate fi măsurată prin absența entropiei. Pentru a caracteriza pe deplin complexitatea, avem nevoie de noțiuni care transcend termodinamica sistemelor în echilibru; acestea sunt subiectul capitolului următor.

*

Dacă privim cosmologia din perspectiva termodinamicii, întrebarea de ce universul este interesant devine şi mai dificilă. Din punctul de vedere al paradigmei newtoniene, universul e guvernat de o soluție a ecuațiilor unei anumite legi. Acea lege poate fi aproximată printr-o combinație între relativitatea generală şi Modelul Standard al fizicii particulelor, dar detaliile nu contează. Soluția care guvernează universul e selectată dintr-o mulțime infinită de soluții posibile şi poate fi specificată alegând condițiile inițiale la momentul big bang-ului sau în apropierea lui.

Termodinamica ne învață că aproape toate soluțiile legilor fizicii descriu un univers în echilibru, deoarece prin definiție echilibrul e alcătuit din configurațiile cele mai probabile. O altă consecință a echilibrului este că o soluție tipică a legilor are simetrie temporală – în sensul că fluctuațiile locale către o stare

mai ordonată sunt la fel de probabile ca fluctuațiile către o stare mai puțin ordonată. Derularea inversă a filmului are ca rezultat o istorie la fel de probabilă, şi în medie la fel de simetrică temporal. Putem spune că nu există o săgeată a timpului globală.

Universul nostru nu seamănă deloc cu aceste soluții tipice ale legilor. Nici chiar acum, la mai mult de 13 miliarde de ani după big bang, universul nu este în echilibru. Iar soluția care-l descrie e asimetrică temporal. Aceste proprietăți sunt extraordinar de improbabile, dacă soluția care descrie universul e aleasă la întâmplare.

Întrebarea de ce universul e interesant şi pare să devină şi mai interesant este înrudită cu întrebarea de ce legea a doua a termodinamicii încă nu a reuşit să aducă universul la echilibru termic, în pofida miliardelor de ani în care ar fi avut ocazia s-o facă.

*

Cel mai simplu indiciu că universul nostru nu se află în echilibru termic e existența unei săgeți a timpului. Curgerea timpului e marcată de o asimetrie pronunțată: simțim şi observăm că ne mişcăm dinspre trecut către viitor.

Nenumărate fenomene atestă direcționalitatea timpului. Multe lucruri sunt ireversibile (un accident de maşină, o frază rău aleasă spusă unui prieten nesigur, un pahar cu lapte vărsat). Ceştile cu cafea fierbinte se răcesc, iar nu invers; zahărul se amestecă în cafea, nu se separă; iar ceştile scăpate se sparg în bucăți care, lăsate în voia lor, nu se vor reasambla niciodată. Cu toții înaintăm în vârstă în aceeaşi direcție; cărțile şi filmele în care cineva evoluează de la bătrânețe muribundă la copilărie sunt fantezii care nu se împlinesc niciodată în viață.[7]

În starea de echilibru nu există o săgeată a timpului. La echilibru, ordinea poate să crească doar temporar, printr-o fluctuație aleatorie. În medie, aceste abateri de echilibru arată la fel dacă sunt derulate înainte sau înapoi. Dacă luăm un film cu mişcările atomilor dintr-un gaz aflat în echilibru şi-l derulăm invers, nu vom putea distinge versiunea originală de cea inversată.

Pronunțata săgeată a timpului pe care o vedem în univers necesită o explicație, pentru că legile fundamentale ale fizicii sunt simetrice în raport cu timpul. Orice soluție a ecuațiilor lor este însoțită de o soluție-fantomă, care se comportă la fel ca prima, dar cu filmul derulat invers (cu subtilitatea

suplimentară că stânga şi dreapta sunt inversate, iar particulele sunt înlocuite cu antiparticulele lor). Prin urmare, legile fundamentale nu ar fi încălcate dacă unii oameni ar trăi în sens invers, sau dacă unele ceşti cu cafea lăsate pe masă s-ar încălzi, sau dacă ceştile sparte s-ar reasambla în mod spontan.

De ce lucrurile acestea nu se întâmplă niciodată? Şi de ce diferitele asimetrii temporale sunt toate orientate în aceeaşi direcție – către creşterea dezordinii? Aceasta e uneori numită *problema săgeții timpului*.

De fapt, în universul nostru există mai multe săgeți ale timpului.

Universul se dilată, nu se contractă. Numim aceasta *săgeata cosmologică a timpului*.

Mici porțiuni de univers, lăsate singure, tind să devină mai dezordonate cu trecerea timpului (laptele vărsat, aerul care ajunge la echilibru etc.). Aceasta se numeşte *săgeata termodinamică a timpului*.

Oamenii, animalele şi plantele se nasc, cresc, îmbătrânesc şi apoi mor. Aceasta se poate numi *săgeata biologică a timpului*.

Percepem timpul curgând dinspre trecut către viitor. Ne amintim trecutul, dar nu viitorul. Aceasta este *săgeata empirică a timpului*.

Mai există şi o altă săgeată, mai puțin evidentă decât cele precedente, însă un indiciu important. Lumina se deplasează dinspre trecut către viitor. Prin urmare, lumina care ajunge în ochii noştri ne oferă o imagine a lumii din trecut, nu din viitor. Aceasta se numeşte *săgeata electromagnetică a timpului*.

Undele luminoase sunt produse de mişcarea sarcinilor electrice. Mişcați încoace şi încolo o sarcină electrică, iar lumina se va răspândi, deplasându-se întotdeauna spre viitor, niciodată spre trecut. Acelaşi lucru pare să fie valabil şi pentru undele gravitaționale. Există aşadar o *săgeată a timpului a undelor gravitaționale*.

Universul nostru pare să conțină numeroase găuri negre. O gaură neagră este extrem de asimetrică în raport cu timpul. Orice poate cădea în ea, dar tot ce poate ieşi este radiație termică Hawking. O gaură neagră e un dispozitiv care ia orice lucru şi-l transformă într-un gaz de fotoni în echilibru. Acest proces ireversibil produce foarte multă entropie.

Dar ce se poate spune despre găurile albe? Aceste obiecte ipotetice sunt soluții ale relativității generale care se obțin inversând direcția timpului în găurile negre. Găurile albe se comportă invers decât găurile negre. Nimic nu poate cădea într-o gaură albă, în schimb din ea poate ieşi orice. O gaură albă ar putea arăta ca apariția spontană a unei stele, ceea ce s-ar obține derulând invers un film despre colapsul unei stele într-o gaură neagră. Astronomii nu au observat nimic care să poată fi interpretat drept gaură albă.

Chiar dacă luăm în considerare numai găurile negre, este ceva ciudat în legătură cu universul nostru. Conform ecuațiilor relativității generale, era perfect posibil ca la început el să fi fost plin cu găuri negre. Dar, aşa cum am observat în capitolul 11, se pare că ele lipseau cu desăvârşire în universul timpuriu. Toate găurile negre pe care le cunoaştem par să se fi format mult mai târziu, din colapsul stelelor masive.

De ce există numai găuri negre, nu şi găuri albe? Şi de ce la început universul nu a fost plin cu găuri negre? Se pare că există o *săgeată a timpului a găurilor negre*, indicată de absența lor în istoria timpurie a universului.

Ar putea exista în cealaltă parte a universului o galaxie în care unele dintre aceste săgeți ale timpului să fie orientate invers? Nu există dovezi despre aşa ceva. Am putea trăi într-un univers în care, din loc în loc, unele săgeți ale timpului să fie inversate, dar se pare că nu este aşa. De ce?

Aceste diferite săgeți ale timpului sunt realități din universul nostru care necesită o explicație. Orice explicație oferită pentru ele se bazează pe presupuneri despre natura timpului. Explicația dată de cineva care crede că timpul emerge dintr-o lume atemporală se va deosebi de explicația dată de cineva care crede că timpul este fundamental şi real.

Legată de aceasta e întrebarea dacă legile fizicii sunt sau nu reversibile. După cum am observat în capitolul 5, faptul că legile naturii sunt reversibile în raport cu timpul poate fi considerat o dovadă în favoarea ideii că timpul nu e fundamental. Cum putem explica săgețile timpului dacă legile naturii sunt reversibile în timp? Săgețile timpului reprezintă fiecare câte o asimetrie în timp; cum ar putea ele să apară din legi simetrice în raport cu timpul?

Răspunsul este că legile acționează asupra condițiilor inițiale. Legile pot fi simetrice în

raport cu inversarea direcției timpului, dar condițiile inițiale nu e necesar să fie la fel. Acestea pot evolua către condiții finale care se disting cu uşurință de ele. De fapt, aşa se şi întâmplă: condițiile inițiale ale universului nostru par să fi fost fin reglate pentru a produce un univers asimetric în timp.

Iată un exemplu. Viteza inițială de expansiune a universului, care e stabilită de condițiile inițiale, pare să fi maximizat producția de galaxii şi stele. Dacă ar fi fost mult mai rapidă, universul s-ar fi diluat prea repede pentru ca galaxiile şi stelele să se poată forma. Dacă ar fi fost prea lentă, universul ar fi putut să colapseze direct într-o singularitate finală, înainte ca stelele să fi avut vreo şansă să se formeze. Viteza de expansiune a fost ideală pentru producerea unui număr mare de stele, iar stelele sunt cele care, revărsând fotoni fierbinți în spațiul rece timp de miliarde de ani, mențin universul departe de echilibru, iar astfel explică săgeata termodinamică a timpului.

Săgeata electromagnetică a timpului poate fi de asemenea explicată prin condiții inițiale asimetrice în timp.[8] La începutul universului, n-au existat unde electromagnetice. Lumina a fost produsă doar mai târziu, prin mişcarea materiei. Se explică astfel de ce, atunci când

privim în jur, imaginile purtate de lumină ne oferă informații despre materia din univers. Dacă ne-am ghida doar după legile electromagnetismului, putea fi altfel. Ecuațiile electromagnetismului permit ca la începutul universului lumina să se propage liber. Adică lumina s-ar fi putut forma direct la big bang, în loc să fie emisă mai târziu de materie. Într-un univers precum acesta, orice imagini ale obiectelor, purtate de lumina emisă de materie, ar fi fost înecate în lumina provenită direct de la big bang.

Într-o asemenea lume, privind în urmă cu telescoapele, nu am vedea stele şi galaxii. Am vedea doar o harababură aleatorie. De fapt, lumina formată la big bang ar putea purta imaginile unor lucruri care n-au existat niciodată, de pildă imaginea unei grădini cu elefanți rontăind sparangheli uriaşi.

Aşa ar arăta universul dacă l-am filma cândva în viitorul îndepărtat şi am derula filmul invers. În viitorul îndepărtat vor exista o sumedenie de imagini propagându-se de jur împrejur – imagini ale unor lucruri care au existat cândva. Dar dacă derulăm filmul invers, vedem un univers plin cu imaginile unor lucruri ce urmează să se întâmple. Lumina care poartă o imagine s-ar scurge spre evenimentul reprezentat de acea

imagine şi s-ar sfârşi acolo. Lumina pe care am vedea-o ne-ar informa numai asupra unor lucruri care urmează să se petreacă.

Nu trăim într-un asemenea univers, dar dacă soluțiilor legilor fizicii le corespund universuri posibile, am putea trăi această experiență. Pentru a explica de ce vedem numai lucruri care se întâmplă sau care s-au întâmplat, dar niciodată lucruri care se vor întâmpla sau care nu se vor întâmpla niciodată, trebuie să impunem condiții inițiale stricte. Acestea interzic ca universul să conțină dintru început lumină care poartă imagini şi se deplasează nestingherită. Este o condiție severă de asimetrie pe care trebuie s-o impunem, dar e necesară pentru a explica săgeata electromagnetică a timpului.

O poveste similară e valabilă pentru săgeata timpului a undelor gravitaționale şi cea a găurilor negre. Dacă legile fundamentale sunt simetrice în raport cu timpul, atunci întreaga povară a explicației de ce universul nostru e asimetric în raport cu timpul cade pe seama alegerii condițiilor inițiale. De aceea trebuie să impunem condiția ca inițial în univers să nu existe unde gravitaționale care se propagă liber, nici găuri negre primordiale sau timpurii, şi nici găuri albe.

Acest aspect a fost subliniat de Roger Penrose, iar el a propus un principiu care să-l explice şi pe care l-a numit *ipoteza curburii Weyl*.[9] Curbura Weyl este o mărime matematică nenulă dacă există radiație gravitațională, găuri negre sau albe. Principiul lui Penrose afirmă că în singularitatea inițială această mărime se anulează. El observă că principiul e în acord cu ceea ce ştim despre universul timpuriu. Este o condiție asimetrică temporal, fiindcă în mod cert nu e valabilă la momente ulterioare în univers. Mai târziu, universul are o mulțime de unde gravitaționale şi o mulțime de găuri negre. Prin urmare, susține Penrose, pentru a explica universul pe care-l vedem, această condiție asimetrică temporal trebuie impusă asupra alegerii soluției legilor (simetrice temporal) ale relativității generale.

Faptul că pentru a explica universul nostru e nevoie de condiții inițiale asimetrice în raport cu timpul slăbeşte în mare măsură argumentul că timpul este ireal, fiindcă legile naturii sunt simetrice în raport cu timpul. Nu putem să ignorăm rolul condițiilor inițiale şi să declarăm că trecutul şi viitorul sunt la fel, de vreme ce, pentru o concordanță fie şi

aproximativă cu universul nostru, trebuie alese condiții inițiale foarte diferite de condițiile care au evoluat ulterior.[10]

Povara explicației cade atunci pe seama întrebării cum au fost alese condițiile inițiale. Dar nu cunoaştem nici o explicație rațională pentru modul în care au fost alese, aşa încât ajungem într-un impas, lăsând fără răspuns o întrebare esențială despre universul nostru.

Există o altă opțiune, mult mai simplă. Credem că legile noastre sunt aproximații ale unei legi mai profunde. Şi dacă acea lege mai profundă e asimetrică în raport cu timpul?

Dacă legea fundamentală e asimetrică în raport cu timpul, la fel sunt şi majoritatea soluțiilor sale.[11] Nu ar fi atunci nici o problemă să explicăm de ce nu observăm niciodată lucrurile absurde care ar rezulta din derularea inversă a proceselor naturale: pentru că inversa în raport cu timpul a unei soluții a legii nu va mai fi o soluție. Întrebarea de ce vedem numai imagini din trecut, nu şi din viitor, capătă răspuns. Faptul că universul e pronunțat asimetric în raport cu timpul s-ar explica direct prin asimetria temporală a legii fundamentale. Un univers asimetric în raport cu timpul nu ar mai fi improbabil, el ar fi necesar.

La asta cred că s-a gândit Penrose când a propus ipoteza curburii Weyl. Deosebirea dintre o fizică în apropierea singularității inițiale şi o fizică la un moment ulterior în univers ne-ar fi impusă de o teorie cuantică a gravitației, care în viziunea lui Penrose trebuie să fie o teorie cu o pronunțată asimetrie temporală. Dar o teorie asimetrică în raport cu timpul este nenaturală dacă timpul e emergent. Dacă teoria fundamentală nu conține o noțiune de timp, e cu neputință să distingem trecutul de viitor. Extrema improbabilitate a universului nostru ar rămâne în continuare neexplicată.

O teorie asimetrică în raport cu timpul este mult mai naturală dacă timpul e fundamental. Într-adevăr, nimic n-ar fi mai natural decât să avem o teorie fundamentală care distinge trecutul de viitor, pentru că trecutul şi viitorul sunt foarte diferite. Într-un cadru metafizic în care timpul şi curgerea momentelor dinspre trecut către viitor sunt reale, este perfect natural să avem legi asimetrice în raport cu timpul care guvernează un univers asimetric în raport cu timpul. Realitatea timpului câştigă aşadar credibilitate din aceste considerații, fiindcă ne permite să evităm a lăsa fără explicație o improbabilitate enormă – pronunțata

asimetrie în raport cu timpul a universului nostru. Să considerăm aceasta e încă un pas în descoperirea timpului.

*

Putem spune că universul este improbabil?

De mai multe ori în capitolul de față am afirmat că universul nostru sau condițiile sale inițiale sunt improbabile – de exemplu, atunci când am argumentat că e improbabil ca un univers guvernat de legi simetrice în raport cu timpul să aibă o săgeată a timpului. Dar de fapt ce înseamnă că universul e improbabil? Universul este unic şi se întâmplă o singură dată. Este singurul lucru în genul său. Nu ar trebui ca fiecare proprietate a sa să fie probabilă?

Pentru a lămuri această confuzie, trebuie să ştim ce se înțelege când spunem că un anumit sistem se află într-o configurație improbabilă. În paradigma newtoniană aceasta are sens, fiindcă descrierea se referă la un subsistem al universului, care poate fi unul dintre numeroasele în genul său. Dar în mod evident nu se aplică universului în întregime.

Am putea încerca să definim probabilitatea ca universul nostru să aibă o anumită proprietate, presupunând că

condițiile inițiale au fost alese la întâmplare din spațiul configurațiilor. Ştim însă că e o presupunere falsă: ştim că universul nostru nu a fost produs printr-o alegere întâmplătoare, datorită numeroaselor sale proprietăți care ar fi extrem de improbabil să rezulte dintr-o asemenea alegere.

Putem evita această problemă închipuindu-ne că există un număr mare de universuri. După cum am văzut însă în capitolul 11, sunt două tipuri de teorii ale multiversului: cele în care universul nostru e atipic, deci improbabil, precum cele generate de inflația eternă; şi cele exemplificate de selecția naturală cosmologică, care generează un ansamblu de universuri în care universuri precum al nostru sunt probabile. Aşa cum am explicat în capitolul 11, doar în cel din urmă tip sunt posibile predicții falsificabile pentru observații realizabile; în prima categorie trebuie folosit principiul antropic pentru a selecta tipurile noastre de universuri improbabile şi nu sunt posibile predicții prin care ipotezele aflate la baza scenariului să poată fi testate independent. Trebuie să conchidem că, indiferent dacă există multe universuri sau doar unul singur, afirmația că universul nostru e improbabil nu are un conținut empiric.

Dar întreaga ştiință a termodinamicii se bazează pe aplicarea noțiunii de probabilitate la microstarea unui sistem. Prin urmare, comitem eroarea cosmologică de fiecare dată când aplicăm termodinamica pentru a discuta o proprietate a întregului univers.[12] Singurul mod de a evita eroarea şi paradoxul unui univers improbabil este să ne bazăm explicația faptului că universul e complex şi interesant pe o fizică asimetrică în raport cu timpul – o fizică în care un univers ca al nostru este inevitabil, iar nu improbabil.

Acesta nu e singurul exemplu în care fizicienii au ajuns la concluzii paradoxale comițând eroarea de a aplica termodinamica la întregul univers. Ludwig Boltzmann, cel căruia i se datorează explicația statistică pentru entropie şi legea a doua a termodinamicii, a fost pare-se primul care a propus un răspuns la întrebarea de ce universul nu e în echilibru. El nu ştia despre expansiunea universului sau big bang; concepția sa cosmologică era cea a unui univers etern şi static. Caracterul etern al universului era o mare problemă pentru el, deoarece însemna că acesta ar fi trebuit să ajungă deja la echilibru, dat fiind că avusese la dispoziție un timp infinit.

Un motiv la care s-a gândit pentru ca universul să nu fie în echilibru a fost că sistemul nostru solar şi regiunea înconjurătoare fuseseră de curând locul unei fluctuații foarte mari, în care Soarele, planetele şi stelele înconjurătoare se formaseră spontan dintr-un gaz aflat în echilibru. Entropia în regiunea noastră creşte, odată ce această regiune revine la echilibru. Era pesemne cel mai bun răspuns compatibil cu perspectiva cosmologică de care dispunea Boltzmann spre sfârşitul secolului XIX. Dar e greşit. Ştim asta acum, fiindcă putem privi în trecut până aproape de big bang şi la o distanță corespunzătoare de 13 miliarde de ani-lumină, şi nu vedem nici o dovadă că regiunea noastră din univers ar fi o fluctuație cu entropie scăzută într-o lume statică aflată în echilibru. Vedem în schimb un univers care evoluează în timp, cu structuri la toate dimensiunile dezvoltându-se pe măsură ce universul se extinde.

Boltzmann nu putea şti toate acestea, dar există un argument pe care el sau contemporanii săi l-ar fi putut folosi pentru a-i pune explicația la îndoială – decurgând din observația că, cu cât fluctuația e mai mică, cu atât ea apare mai des în starea de

echilibru. Deci cu cât regiunea spațială care se abate de la echilibru e mai mică, cu atât probabilitatea fluctuației e mai mare.

Astronomii de pe vremea lui Boltzmann ştiau că diametrul universului era cel puțin de ordinul zecilor de mii de ani-lumină şi că el conținea multe milioane de stele. Prin urmare, dacă regiunea noastră de spațiu era rezultatul unei fluctuații, trebuia să fi fost o fluctuație extrem de rară – mult mai rară decât altele, mai mici, care ne-ar fi putut conține. Să considerăm o fluctuație care conține doar sistemul nostru solar. Ştim că nu ne găsim în aşa ceva, fiindcă altminteri noaptea nu am vedea decât radiația infraroşie provenind de la gazul în echilibru care ne-ar înconjura. Dar potrivit presupunerilor lui Boltzmann, asemenea fluctuații ar trebui să apară mult mai frecvent într-un univers aflat în echilibru decât rezultă din ceea ce vedem – ar trebui să existe miliarde de fluctuații conținând câte o stea, fiecare la fel de departe de echilibru ca propriul nostru sistem solar. Este mult mai probabil să ne găsim într-o fluctuație de mărimea sistemului solar decât într-una de mărimea galaxiei.[13]

Putem merge mai departe. Cea mai mare parte a sistemului solar e irelevantă pentru existența noastră, aşa încât este şi mai

probabil să ne găsim pe Pământ, văzând pe cer doar o pată fierbinte, decât să ne găsim într-un sistem solar cu Soarele, alte şapte planete, comete şi tot restul. Dar acesta e doar începutul. Tot ce ştim cu adevărat este că suntem ființe gânditoare şi că ne percepem pe noi înşine existând într-o lume. Dar pentru a produce un creier cu amintiri şi imagini ar fi nevoie de o fluctuație mult mai mică decât una care să producă o întreagă planetă cu ființe vii, rotindu-se în jurul unei stele uriaşe. Ne putem gândi deci la o fluctuație care produce doar un singur creier, un creier posedând amintirile şi experiența completă a unei lumi imaginare – să-l numim *creier Boltzmann*.

Există aşadar un întreg spectru de posibilități pentru a explica improbabila noastră existență ca o fluctuație în universul în echilibru etern al lui Boltzmann. Ne-am putea găsi într-o fluctuație de mărimea sistemului solar sau a galaxiei, una din trilioanele de ființe vii de pe o planetă, sau am putea fi doar o fluctuație de mărimea unui creier posedând imagini şi amintiri. Aceasta din urmă necesită mult mai puțină informație – altfel spus, mai puțină entropie negativă – prin urmare fluctuațiile constând în creiere unice apar mult mai frecvent în

universul etern decât fluctuațiile de mărimea sistemului solar sau a galaxiei, care conțin întregi populații de creiere.

Aceasta se numeşte *paradoxul creierului Boltzmann*: în univers, într-un timp etern, există incomparabil mai multe creiere formate prin mici fluctuații decât creiere care apar în procesul lent al evoluției şi necesită o fluctuație care durează miliarde de ani. Prin urmare, ca ființe conştiente, este copleşitor de probabil să fim creiere Boltzmann. Dar ştim că nu suntem asemenea creiere spontane – altminteri, experiențele şi amintirile noastre ar fi mai probabil să fie incoerente decât să fie coerente. Ar fi de asemenea improbabil ca creierele noastre să conțină imagini ale unui vast univers de galaxii şi stele în jurul nostru. Scenariul lui Boltzmann se dovedeşte aşadar a fi un exemplu clasic de *reductio ad absurdum*.

Nu trebuie să ne mire, fiindcă am comis eroarea cosmologică, şi ea ne-a dus la o concluzie paradoxală. Perspectiva atemporală asupra fizicii întemeiată pe paradigma newtoniană şi-a dovedit neputința în fața întrebărilor fundamentale privind universul: de ce este el interesant şi de ce, la

urma urmei, este atât de interesant încât ființe precum noi pot fi aici pentru a se minuna de el?

Dar dacă acceptăm realitatea timpului, facem posibilă o fizică asimetrică în raport cu timpul, în care universul poate să dezvolte în mod natural complexitate şi structură. Şi evităm astfel paradoxul unui univers improbabil.

---

17. Frank Owen Gehry (n. 1929), arhitect şi proiectant american de origine canadiană. Construcțiile sale sunt caracterizate de forme neconvenționale şi distorsionate, creând senzația de fragmentar, asemenea unui colaj (n. tr.).

17. Timpul renăscut din căldură şi lumină

În capitolul precedent ne-am ocupat de una dintre cele mai mari enigme cosmologice: de ce universul este interesant şi pare să devină din ce în ce mai interesant odată cu trecerea timpului. Am văzut că încercările de abordare bazate pe perspectiva atemporală implicată de paradigma newtoniană au dus la două paradoxuri: afirmația că universul unic este improbabil şi paradoxul creierului Boltzmann. În capitolul acesta voi explica modul în care principiile unei noi teorii cosmologice, enunțate în capitolul 10, ne pot ajuta să înțelegem de ce universul este interesant, evitând totodată paradoxurile întâlnite în capitolul precedent.

Vom începe cu o întrebare simplă: poate universul să conțină două momente de timp identice?

Faptul că există o săgeată a timpului înseamnă că fiecare moment este unic. Cel puțin până acum, universul e diferit la momente de timp diferite; aceste deosebiri

sunt vizibile în proprietățile galaxiilor, de pildă, sau în abundențele relative ale elementelor. Întrebarea este dacă succesiunea momentelor este întâmplătoare sau reflectă un principiu mai profund. În teoriile prezentate în contextul paradigmei newtoniene, existența unei săgeți a timpului pare întâmplătoare. Într-un univers etern în echilibru, ne aşteptăm la o mulțime de perechi de momente identice sau foarte asemănătoare.

Dar există un principiu mai profund care susține că două momente de timp nu pot fi identice. Acesta este principiul lui Leibniz al *identității indiscernabilelor*, pe care l-am prezentat în capitolul 10 ca o consecință a principiului rațiunii suficiente. Potrivit acestui principiu, în univers nu pot exista două obiecte indiscernabile, dar distincte. Este o chestiune de bun-simț. Dacă obiectele se disting doar prin proprietățile lor observabile, nu pot exista două obiecte discernabile care au exact aceleaşi proprietăți.

Principiul lui Leibniz decurge din ideea fundamentală că proprietățile fizice ale corpurilor sunt relaționale. Ce se poate spune despre doi electroni, unul aflat într-un atom din cuvertura de pe pat, iar celălalt pe vârful

unui munte de pe fața nevăzută a Lunii? Acestea nu sunt particule identice, deoarece poziția este una dintre proprietățile lor. Din perspectivă relațională, putem spune că ele sunt discernabile prin faptul că au împrejurimi discernabile.[1]

Nu există spațiu absolut, de aceea nu are sens să întrebăm ce se întâmplă într-un anumit punct fără să dăm instrucțiuni pentru identificarea acelui punct. Aşadar nu putem localiza un obiect într-un punct dacă nu avem o metodă pentru a specifica acel loc. Un mod de a recunoaşte unde te afli e să observi ce este unic în peisajul înconjurător. Să presupunem că cineva ar pretinde că două obiecte în spațiu au exact aceleaşi proprietăți şi exact acelaşi mediu înconjurător. Asta înseamnă că indiferent cât de departe de cele două obiecte am explora, am descoperi aceeaşi organizare a tuturor celorlalte lucruri din spațiu. Dacă ar exista o asemenea situație stranie, unui observator i-ar fi imposibil să distingă un obiect de celălalt.

Prin urmare, a cere ca lumea să conțină două obiecte identice înseamnă a cere imposibilul. Ar trebui să existe două locuri identice în univers – locuri din care perspectiva asupra universului este exact aceeaşi. Universul în întregime este aşadar

modelat în mare măsură de cerința aparent simplă ca el să nu conțină două obiecte identice.[2]

Acelaşi argument se aplică la două evenimente în spațiu-timp. Principiul identității indiscernabilelor impune să nu poată exista două evenimente în spațiu-timp care să aibă exact aceleaşi proprietăți observabile. Nu pot exista nici două momente de timp identice.

Când privim cerul noaptea, vedem universul din perspectiva unui anumit loc la un anumit moment de timp. Priveliştea include toți fotonii care ajung la noi de aproape şi de departe. Dacă fizica este relațională, atunci fotonii aceştia alcătuiesc realitatea intrinsecă a acelui eveniment particular – adică faptul că privim cerul nocturn din acel loc şi la acel moment. Principiul identității indiscernabilelor afirmă că priveliştea universului pe care o poate vedea un observator din fiecare eveniment din istoria universului e unică. Să presupunem că extratereştrii ne-au răpit în timp ce dormeam şi ne-au dus într-o călătorie în maşina lor a timpului. În principiu, dacă ne-am trezi într-o galaxie îndepărtată, am putea spune exact unde în univers ne găsim

făcând o hartă a ceea ce vedem privind în jur. De asemenea, am putea spune exact când în univers am fost transportați.

De aici rezultă că universul nostru nu poate avea simetrii exacte. De fapt, nici nu are, după cum am discutat în capitolul 10. Deşi simetriile sunt utile pentru analiza modelelor unor mici părți din univers, toate simetriile postulate până acum de fizicieni s-au dovedit a fi aproximative sau rupte.

Potrivit principiului identității indiscernabilelor, în universul nostru fiecare moment de timp şi fiecare loc în fiecare moment se deosebesc în mod unic de oricare altele. Nici un moment nu se repetă vreodată. Examinat suficient de amănunțit, fiecare eveniment din univers este unic. Într-un asemenea univers, condițiile necesare pentru a aplica paradigma newtoniană nu sunt niciodată complet îndeplinite. După cum am observat, acea metodă necesită să putem efectua experimentele de multe ori pentru a verifica repetabilitatea lor şi pentru a distinge efectul unei legi generale de efectele modificării condițiilor inițiale. Aceasta se poate realiza aproximativ, dar niciodată exact, deoarece cu cât observăm mai multe

detalii, cu atât devine mai clar că nici un eveniment sau experiment nu poate fi copia exactă a altuia.

Va fi util să avem un nume pentru universurile ipotetice în care fiecare moment de timp şi fiecare eveniment sunt unice. Vom numi *univers leibnizian* un univers care satisface principiul identității indiscernabilelor.

Acesta se deosebeşte radical de universul imaginat de Ludwig Boltzmann. În acea perspectivă asupra cosmologiei, majoritatea istoriei universului este dominată de perioade de echilibru termic, în care entropia este maximizată şi nu există structură sau organizare. Aceste lungi perioade inerte sunt întrerupte de perioade relativ scurte în care structura şi organizarea apar datorită unei fluctuații statistice – după care ele se disipează dată fiind tendința entropiei de a creşte. Putem numi o asemenea lume *univers boltzmannian*.

Întrebarea de care depinde viitorul este: trăim într-un univers leibnizian, sau într-unul boltzmannian? Într-un univers leibnizian timpul este real, în sensul că nici un moment de timp nu e identic cu altul. Într-un univers boltzmannian există o mulțime de momente care revin – dacă nu exact, atunci cu orice

grad de precizie dorim. Într-un sens aproximativ, majoritatea momentelor unui univers boltzmannian seamănă cu toate celelalte, pentru că în starea de echilibru toate momentele sunt aproximativ la fel. Mărimile intensive, cum ar fi temperatura şi densitatea, care măsoară valori medii, sunt uniforme. Este adevărat că atomii fluctuează în jurul acestor valori medii, dar aproape niciodată suficient pentru a produce niveluri macroscopice de structură şi organizare. Într-un univers boltzmannian, dacă aşteptăm un timp suficient de lung, universul se va apropia oricât de mult vrem de repetarea oricărei configurații. În medie, aceste recurențe aproximative sunt separate de timpul de recurență al lui Poincaré. Dar dacă timpul este etern, fiecare moment se repetă de o infinitate de ori.

Un univers leibnizian este exact opusul: prin definiție, nici un moment nu se repetă vreodată. Un univers nu poate fi atât boltzmannian, cât şi leibnizian. Aşadar, cum este al nostru?

Dacă timpul este real, trebuie să fie imposibil să existe două momente de timp diferite, dar identice. Timpul este pe deplin real numai într-un univers leibnizian. Un univers leibnizian va fi plin cu o

complexitate care generează o gamă largă de tipare şi structuri unice. Şi va fi în permanentă schimbare, pentru a asigura că fiecare moment poate fi distins de oricare altul prin structurile şi tiparele prezente atunci. Aşa cum e într-adevăr universul nostru.

*

Este bine de ştiut că universul nostru pare să satisfacă un principiu general precum cel al identității indiscernabilelor, dar asta nu lămureşte tot misterul. Fiindcă nu principiile acționează asupra materiei, ci legile. Trebuie să ştim cum acționează principiul prin intermediul legilor pentru a fi garantat faptul că e satisfăcut. Într-o anumită măsură, cunoaştem răspunsul – care se leagă de relația dintre gravitație şi termodinamică.

O componentă a actualului nostru univers leibnizian este aproape în echilibru termic; acesta este fondul cosmic de microunde (CMB) – dar ştim că CMB este o relicvă a universului timpuriu, care a apărut la aproximativ 400 000 de ani după big bang. Fără îndoială, echilibrul domneşte în vastele regiuni ale spațiului interstelar şi intergalactic. O mare parte a universului e însă departe de echilibru. Cele mai obişnuite

obiecte din universul nostru sunt stelele, iar acestea nu sunt în echilibru cu mediul lor înconjurător. Într-o stea există întotdeauna un echilibru dinamic între energia generată de reacțiile nucleare din centrul său, care ar face-o să explodeze, şi gravitație, care ar face-o să colapseze. Dar steaua va atinge ceea ce înțelegea Boltzmann prin echilibru abia după epuizarea combustibilului nuclear, când ea se stabilizează ca pitică albă, stea neutronică sau gaură neagră (caz în care poate deveni motorul unui sistem de acreție, accelerând apoi spre exterior materia captată). Asemenea sisteme nu sunt însă în echilibru; ele sunt stări staționare dinamice.

O stea poate fi considerată drept un sistem menținut departe de echilibru printr-un flux constant de energie care-l străbate. Energia provine atât din reacții nucleare, cât şi din energia potențială gravitațională, fiind convertită lent în lumină stelară într-o anumită gamă de frecvențe. Lumina stelei ajunge apoi la suprafața unor planete, precum a noastră, şi le aduce în propriile lor stări departe-de-echilibru.

Acesta este un exemplu al unui principiu general[3]: *Fluxurile de energie prin sisteme deschise tind să le aducă în stări cu un nivel mai înalt de organizare*. („Sistemele

deschise“, să ne aducem aminte, sunt orice sisteme mărginite care pot schimba energie cu mediul lor înconjurător.) Putem numi aceasta *principiul auto-organizării induse* [*driven self-organization*]. Dacă principiul rațiunii suficiente este principiul explicativ suprem în natură, iar identitatea indiscernabilelor este prințul ei, atunci principiul auto-organizării induse este îngerul cel bun care face munca de amănunt în puzderia de stele şi galaxii pentru a asigura un univers complex şi divers.

Să umplem o oală cu apă şi s-o aşezăm pe aragaz. Sistemul (oala şi apa din ea) este deschis, fiindcă energia e introdusă lent prin fundul oalei, încălzeşte apa, după care iese prin suprafața lichidului şi se răspândeşte în aer. Ca lucrurile să fie cât mai simple, să punem un capac pe oală, pentru a împiedica apa să iasă când se transformă în aburi. După o vreme, apa ajunge într-o stare staționară în care nici temperatura, nici densitatea sa nu sunt uniforme. Temperatura apei este mai mare la fundul oalei şi scade către suprafață; densitatea se comportă invers. Energia care trece prin apă a scos-o din starea de echilibru. Curând începe să apară o structură: cicluri de convecție, în care apa se mişcă într-un mod ordonat în coloane. Ciclurile

sunt acționate de căldura introdusă prin partea inferioară. Apa se încălzeşte, se dilată, şi ca urmare se mişcă în sus într-o coloană ascendentă. La suprafață, ea cedează o parte din căldură, devine mai densă decât apa din jur şi se afundă, creând o coloană descendentă de apă. Fiindcă apa nu poate să urce şi să coboare în acelaşi spațiu, se formează o structură prin separarea coloanelor ascendentă şi descendentă.

Fluxul staționar de energie printr-un sistem poate produce tipare şi structuri complexe, dovadă că aceste sisteme sunt departe de echilibrul termodinamic. Un alt exemplu sunt ondulațiile create de vânt pe dunele de nisip. La celălalt capăt al spectrului complexității este viața. Ambele, şi multe lucruri aflate între ele, sunt rezultatul fluxului staționar de energie printr-un sistem. Asta înseamnă, între altele, că sistemele auto-organizate complexe nu sunt niciodată izolate.

Aceste fluxuri produc sisteme categoric leibniziene. Ființele vii tind să existe într-un număr mare de copii, dar fiecare poate fi distinsă de celelalte. Şi cu cât urcăm mai sus pe scara evoluției, cu atât indivizii pot fi distinşi mai uşor unul de altul.

Există multă ştiință frumoasă pe parcurs. Problema este că, aşa cum am observat în capitolul precedent, legea a doua a termodinamicii nu poate fi aplicată decât unui sistem izolat, închis într-o cutie care împiedică schimbul de materie şi energie cu exteriorul. Nici un sistem viu nu e izolat. Cu toții călătorim pe fluxuri de materie şi energie – fluxuri acționate în ultimă instanță de energia provenită de la Soare. Dacă suntem închişi într-o cutie (ca o prefigurare a înhumării noastre finale), murim.

Aristotel a avut deci dreptate când a înțeles că tărâmul pământesc e împiedicat să ajungă la echilibru datorită fluxului de energie care-l străbate. Insuficienta înțelegere a acestei idei i-a făcut pe unii oameni de ştiință şi filozofi să vadă un conflict între legea a doua a termodinamicii şi faptul că selecția naturală produce structuri din ce în ce mai improbabile. Nu există nici o contradicție, pentru că legea creşterii entropiei nu se aplică biosferei, care nu e un sistem izolat. Într-adevăr, selecția naturală este un mecanism de auto-organizare ce poate să apară spontan ca o consecință a tendinței sistemelor acționate din exterior de a se organiza.

În contextul sistemelor cu auto-organizare putem înțelege mai bine ce trăsături fac ca un sistem să fie complex. Sistemele extrem de complexe nu pot fi în echilibru, întrucât ordinea nu este aleatorie, prin urmare entropia înaltă şi un grad înalt de complexitate nu pot coexista. A spune despre un sistem că e complex nu înseamnă doar că are entropie scăzută. Un şir de atomi aşezați în linie are entropie scăzută, dar nu s-ar putea spune că e complex. O caracterizare mai bună a complexității, propusă de Julian Barbour şi de mine, se referă la ceea ce numim varietate [*variety*]: un sistem are varietate înaltă dacă oricare două subsisteme ale sale pot fi distinse unul de celălalt furnizând o cantitate minimă de informație despre modul cum sunt conectate între ele sau cum se raportează la întreg.[4] Un oraş are varietate înaltă, deoarece privind în jur poți spune cu uşurință unde anume te afli. Asemenea condiții apar în natură în sistemele aflate departe de echilibru ca rezultat al proceselor de auto-organizare.

O trăsătură omniprezentă a unor asemenea sisteme cu auto-organizare este că ele sunt stabilizate prin mecanisme de feedback. Orice ființă vie este o rețea complexă de procese de feedback care reglează,

canalizează şi stabilizează fluxurile de energie şi materie care o străbat. Feedback-ul poate fi pozitiv, ceea ce înseamnă că accelerează producerea a ceva (precum țiuitul unui microfon când ajunge prea aproape de un difuzor). Feedback-ul negativ acționează pentru atenuarea unui semnal, ca în termostatul care porneşte încălzirea când e prea frig în casă şi o opreşte când e prea cald.

Atunci când diferite mecanisme de feedback concurează pentru a controla un sistem, se formează tipare în spațiu şi timp. Când un mecanism de feedback pozitiv concurează cu un mecanism de feedback negativ, dar ele acționează la scări diferite, pot rezulta tipare în spațiu. Acest mecanism de bază al auto-organizării biologice, descoperit de Alan Turing[5], acționează pentru a produce într-un embrion tiparele marcând părțile corpului ce urmează a se forma. Mai târziu, el poate să acționeze din nou, pentru a produce tipare pe pielea unei pisici, de exemplu, sau pe aripile unui fluture.

Ce vedem dacă privim dincolo de scara dimensională a stelelor şi sistemelor solare? Stelele sunt organizate în galaxii, fiindcă acolo se formează ele. Galaxiile sunt ele însele departe de echilibrul termodinamic. Propria noastră Cale Lactee este o galaxie

spirală tipică. Ea conține nu doar stele, ci şi enormi nori interstelari de gaz şi praf, din care se formează stelele. Gazul se acumulează lent din exterior în planul discului galactic; acesta e unul dintre mecanismele schimbării într-o galaxie. Praful e produs de stele şi injectat în discul galactic atunci când ele explodează ca supernove în finalul vieții lor. Gazul şi praful există în faze diferite; o parte e foarte fierbinte, iar o parte e condensată în nori foarte reci. Procesele de auto-organizare într-o galaxie sunt acționate de lumina stelară – fluxuri de energie provenite de la stele. Din când în când, o stea masivă explodează ca supernovă, şi aceasta revarsă de asemenea multă energie şi materie în galaxie. Vedem structuri şi la o scară mai mare decât cea a galaxiilor, care sunt organizate în roiuri şi filamente separate de goluri. Se crede că aceste tipare sunt formate de materia întunecată şi menținute laolaltă prin interacțiunile sale.

Universul nostru actual este aşadar caracterizat de structură şi complexitate într-o gamă largă de dimensiuni, de la organizarea moleculelor în celule vii la organizarea galaxiilor în roiuri. Există o ierarhie a sistemelor cu auto-organizare, acționate de fluxuri de energie şi stabilizate

şi modelate prin procese de feedback. Universul acesta e în mult mai mare măsură leibnizian decât boltzmannian.

Ce vedem dacă privim în urmă? Vedem un univers care evoluează de la structuri mai simple la structuri mai complicate, de la echilibru la complexitate.

Avem motive întemeiate să credem că în universul timpuriu materia şi radiația erau aproape în echilibru termic. Materia şi radiația erau într-o stare fierbinte, cu o temperatură remarcabil de uniformă, care creşte pe măsură ce ne întoarcem mai mult în timp. Înainte de era decuplării (separarea fotonilor de materie la 400 000 de ani după big bang), materia era în echilibru cu radiația – un echilibru care, din câte ştim, era perturbat numai de fluctuații aleatorii ale densității. Toată structura şi complexitatea pe care le vedem în prezent s-a format după ce materia şi radiația s-au decuplat. Germenii structurilor inițiale au fost micile fluctuații aleatorii ale densității, iar aceste structuri au crescut odată cu expansiunea universului. Au apărut galaxiile, pe urmă stelele, pe urmă viața.

Cu siguranță nu aceasta e imaginea pe care ar sugera-o aplicarea naivă a legii a doua a termodinamicii. Legea a doua spune

că în sistemele izolate aleatoriul creşte, ele devenind mai dezordonate şi mai puțin complexe şi structurate odată cu trecerea timpului. Este contrariul a ceea ce vedem că se întâmplă în istoria universului nostru, în care complexitatea creşte pe măsură ce se formează structuri la multe scări dimensionale, structurile cele mai complicate fiind cele mai recente.

Evoluția complexității necesită timp. Niciodată n-a existat un sistem complex static. Marea lecție este că universul nostru are o istorie, şi că e o istorie în care complexitatea creşte cu timpul. Nu doar că universul nu este boltzmannian, dar el devine tot mai puțin boltzmannian odată cu trecerea timpului.

Aceasta nu abrogă legea a doua a termodinamicii. Legea a doua se aplică unor sisteme izolate, iar ele ajung la echilibru în decursul timpului. Mai mult, formarea complexității este de fapt compatibilă cu o creştere a entropiei, atât timp cât creşterea entropiei şi sporirea complexității se produc în locuri diferite. Biosfera Pământului se organizează de aproape 4 miliarde de ani, încă de la apariția vieții pe planeta noastră. Creşterea organizării este acționată de fluxul de energie de la Soare, care ajunge sub formă

de fotoni, mai ales în domeniul luminii vizibile, captată prin fotosinteză în plante. Fotosinteza captează energia fotonilor în legături chimice. Sub forma aceasta, energia poate cataliza reacții chimice capabile, de exemplu, să formeze o moleculă de proteină. Energia traversează până la urmă biosfera, iese sub formă de căldură, iar în cele din urmă e radiată ca fotoni infraroşii în spațiul cosmic. Următorul popas al unui foton ar putea fi pentru a încălzi un fir de praf aflat pe orbită în jurul Soarelui.

O singură cuantă de energie poate cataliza formarea unei molecule complexe, reducând astfel entropia biosferei, dar când este radiată în spațiu ca lumină infraroşie, ea creşte entropia sistemului solar în ansamblul lui. Atâta timp cât creşterea entropiei provocată de încălzirea unui fir de praf undeva în spațiu e mai mare decât scăderea entropiei provocată de formarea unei legături moleculare, rezultatul pe termen lung e în acord cu legea a doua.

Prin urmare, dacă considerăm sistemul solar ca un sistem izolat, faptul că părți ale lui sunt supuse auto-organizării este compatibil cu o creştere globală a entropiei sale. Sistemul în ansamblu încearcă să ajungă la echilibru şi îşi va mări entropia

acolo unde poate. Legea a doua îşi dă toată silința să aducă sistemul solar la echilibru, dar atâta timp cât există o stea mare care radiază fotoni fierbinți în spațiul rece, echilibrul este amânat. Pe durata acestei amânări, moleculele se pot lăsa purtate de fluxul de energie către stări tot mai organizate şi mai complexe. Iar stelele ard vreme de miliarde de ani, aşa încât complexitatea are suficient timp să prolifereze. Existența stelelor explică în bună măsură de ce universul este departe de echilibru la aproape 14 miliarde de ani după formarea sa.

*

Dar de ce există stele? Dacă universul trebuie să tindă către entropie şi dezordine, cum se face că stelele, care îndepărtează universul de echilibru, sunt omniprezente? Altfel spus: pentru ca universul să fie leibnizian, trebuie să existe ceva de felul stelelor. Ce caracteristici ale legilor naturii le garantează existența?

Fizica stelelor se bazează pe două caracteristici neobişnuite ale legilor naturii. Prima este reglajul incredibil de fin al parametrilor care guvernează fizica. Aceste reglaje fine includ masele particulelor

elementare şi tăriile celor patru forțe. Ele fac posibilă fuziunea nucleară, aşa încât hidrogenul conținut într-o stea nu se comportă la fel ca în absența forțelor nucleare. În loc să se mişte de colo-colo la întâmplare, atomii de hidrogen înghesuiți în centrul unei stele pot interacționa într-un mod nou. Ei fuzionează formând heliu şi alte câteva elemente uşoare. E ca şi cum ai fi prizonier într-o celulă, zile în şir, în acelaşi echilibru monoton. Fiecare oră este la fel ca toate celelalte. După care brusc se deschide o uşă care nu a existat înainte, şi evadezi într-o lume cu totul nouă. Legile termodinamicii aplicate unor atomi generici nu ar prezice niciodată fuziunea nucleară şi posibilitățile cărora ea le dă naştere.

A doua caracteristică neobişnuită este legată de comportamentul sistemelor unite prin forța gravitației. Într-un mod foarte simplu, gravitația subminează ideile noastre naive asupra termodinamicii.

O observație din viața de zi cu zi, care e totodată o consecință a legii a doua a termodinamicii, este curgerea căldurii de la corpurile mai calde către corpurile mai reci. Gheața se topeşte. Apa de pe aragaz fierbe. Căldura încetează să mai curgă atunci când temperatura celor două corpuri este aceeaşi;

ele au ajuns în starea de echilibru. În mod normal, când extragem energie dintr-un corp, temperatura lui scade, iar când i se furnizează energie, el se încălzeşte. Prin urmare, atunci când căldura curge de la un corp mai cald către unul mai rece, al doilea se încălzeşte, iar primul se răceşte. Acest fenomen continuă până când temperaturile lor devin egale. De aceea aerul dintr-o încăpere are aceeaşi temperatură. Dacă nu ar avea, atunci energia ar curge dinspre partea caldă către cea rece până când s-ar atinge o temperatură comună.

Comportamentul acesta face ca un sistem în echilibru să fie stabil fată de efectele micilor fluctuații. Să presupunem că, printr-o mică fluctuație, o parte a încăperii a devenit puțin mai caldă decât cealaltă. Energia va curge dinspre partea caldă, răcind-o, înspre partea mai rece, încălzind-o, aşa încât curând temperatura e din nou uniformă. Majoritatea sistemelor se comportă în modul acesta uşor de intuit. Dar nu toate.

Imaginați-vă că există un gaz care se comportă invers, răcindu-se dacă îi adăugăm energie şi încălzindu-se dacă îi luăm din energie. Poate părea contraintuitiv, dar există asemenea gaze. Ele sunt în mod necesar instabile. Să presupunem că în starea inițială

o cameră e umplută cu un gaz de felul acesta aflat la aceeaşi temperatură. O mică fluctuație deplasează puțină energie din partea stângă în cea dreaptă. Atunci partea stângă se încălzeşte, în vreme ce partea dreaptă se răceşte. Asta face ca şi mai multă energie să curgă dinspre partea stângă, cea fierbinte, către partea rece. În acest proces partea stângă nu se va răci; dimpotrivă, ea se va încălzi şi mai tare. Iar pe măsură ce energia se scurge în partea dreaptă mai rece, aceasta se răceşte şi mai tare. Curând avem o instabilitate scăpată de sub control, în care cele două părți ale camerei sunt obligate să-şi mărească întruna diferența de temperatură.

Iar acum să privim doar partea fierbinte şi să repetăm scenariul. Să presupunem că apare o altă fluctuație, care răceşte puțin centrul părții fierbinți. Acelaşi fenomen acționează ca feedback pozitiv pentru a răci şi mai mult centrul şi a încălzi şi mai mult regiunea din jurul său. Cu trecerea timpului, mica fluctuație creşte şi devine o caracteristică. Aceasta se poate întâmpla iar şi iar. Curând avem un tipar complex de regiuni reci şi fierbinți.

Un sistem care se comportă astfel ajunge în mod natural să formeze tipare complexe. E greu de prezis unde va sfârşi un asemenea

sistem, fiindcă există un număr enorm de configurații eterogene, cu tipare, către care ar putea să evolueze. Acestea se numesc *sisteme anti-termodinamice*. Legea a doua operează şi în ele, dar întrucât o regiune căreia i se furnizează energie se răceşte, starea în care gazul e distribuit uniform este extrem de instabilă.

Sistemele menținute laolaltă prin gravitație se comportă în modul acesta excentric. Stelele, sistemele solare, galaxiile şi găurile negre, toate sunt anti-termodinamice. Ele se răcesc atunci când li se furnizează energie. Ceea ce înseamnă că toate aceste sisteme sunt instabile. Instabilitățile le îndepărtează de uniformitate şi stimulează formarea de tipare în spațiu şi timp. Aceasta e în strânsă legătură cu faptul că, la 13,7 miliarde de ani după ce s-a format, universul nu se află în echilibru. Creşterea structurii şi a complexității ce caracterizează istoria universului se explică în mare parte prin faptul că sistemele legate gravitațional care-l umplu, de la roiuri de galaxii la stele, sunt anti-termodinamice.

Este uşor de înțeles de ce asemenea sisteme sunt anti-termodinamice. Două trăsături fundamentale deosebesc gravitația de alte forțe: forța gravitațională (1) are rază

lungă de acțiune şi (2) este în mod universal atractivă. Să considerăm o planetă care se roteşte în jurul unei stele. Dacă i se furnizează energie, ea se va muta pe o orbită mai îndepărtată de stea, unde se mişcă mai încet. Prin urmare, furnizarea energiei reduce viteza planetei, ceea ce scade temperatura sistemului – temperatura nefiind altceva decât viteza medie a obiectelor din sistem. Invers, dacă se extrage energie din sistemul solar, planeta trebuie să reacționeze apropiindu-se de stea, unde se mişcă mai repede. Extragerea energiei duce aşadar la încălzirea sistemului.

Putem compara asta cu comportamentul unui atom, care e menținut laolaltă de forța electrică dintre sarcini. La fel ca gravitația, forța electrică acționează pe distanțe lungi, cu deosebirea că este atractivă doar între sarcinile de semn opus. Un proton încărcat pozitiv va atrage un electron încărcat negativ, dar odată ce electronul este legat de proton, atomul rezultat nu are o sarcină netă. Se spune că forța e saturată, iar atomul nu atrage nici o altă particulă. Un sistem solar se comportă invers, fiindcă atunci când o stea atrage un număr de planete, sistemul rezultant este şi mai atractiv pentru corpurile în trecere decât ar fi fost steaua singură. Iată

aşadar o altă instabilitate – un sistem legat prin gravitație va atrage şi mai multe corpuri către el.

Acest comportament anti-termodinamic se manifestă în dezagregarea roiurilor de stele. Dacă un roi de stele ar acționa termodinamic, el ar ajunge la echilibru – în cazul acesta o stare în care toate stelele sale au aceeaşi viteză medie şi rămân grupate pentru totdeauna. În schimb, ceea ce se întâmplă este că roiul de stele se disipează lent. Aceasta are loc într-un mod interesant. Din când în când, o stea se apropie de o stea dublă – adică două stele care se rotesc una în jurul celeilalte. O apropiere la mică distanță poate avea ca rezultat o orbită mai strânsă pentru steaua dublă. Această contracție orbitală eliberează energie, care e transmisă celei de-a treia stele. A treia stea are acum suficientă energie pentru a evada din roi, şi ea porneşte într-o călătorie prin spațiu. După un timp îndelungat, tot ce mai rămâne din roiul de stele sunt câteva stele duble pe orbite strânse şi un nor de stele care se îndepărtează rapid.

Aceasta nu contrazice legea a doua, ci doar o interpretare naivă a ei. Legea că entropia trebuie de regulă să crească nu face decât să codifice truismul potrivit căruia cu

cât sunt mai multe moduri pentru ca ceva să se întâmple, cu atât este mai probabil că se va întâmpla. Sistemele termodinamice obişnuite sfârşesc în starea unică, anostă, de echilibru uniform; sistemele legate gravitațional, care sunt anti-termodinamice, sfârşesc într-una dintr-un număr mare de stări foarte eterogene.

Aşadar, faptul că universul nostru e interesant are o triplă explicație: *principiul auto-organizării induse* acționează asupra unei puzderii de subsisteme la toate dimensiunile, de la moleculară la galactică, făcându-le să evolueze către stări din ce în ce mai complexe. Motoarele care acționează acel proces sunt stelele, care există datorită unei combinații între *reglajul fin al legilor fundamentale* şi *natura anti-termodinamică a gravitației*. Dar aceste forțe pot produce un univers plin cu stele şi galaxii numai dacă condițiile inițiale ale universului au o pronunțată asimetrie temporală.

Toate acestea pot fi încadrate şi într-o anumită măsură înțelese în paradigma newtoniană. Dar dacă continuăm să gândim în cadrul acelei paradigme, organizarea lumii pare că se bizuie pe enorme improbabilități – caracterul extrem de special al alegerii legilor şi condițiilor inițiale. Concluzia tristă

este că singurul tip de univers ce pare natural din perspectiva atemporală a paradigmei newtoniene este un univers mort aflat în echilibru, evident nu tipul de univers în care trăim. Dar din perspectiva realității timpului, este absolut natural ca universul şi legile sale fundamentale să fie asimetrice în raport cu timpul, cu o săgeată a timpului pronunțată care cuprinde creşteri ale entropiei pentru sistemele izolate, împreună cu dezvoltarea continuă a structurii şi complexității.

18. Spațiu infinit, sau timp infinit?

Am văzut că, acceptând realitatea timpului, putem înțelege de ce universul este plin de structuri şi de complexitate. Dar cât timp poate el să rămână complex şi structurat? Echilibrul poate fi amânat la nesfârşit? Poate că ne găsim într-o bulă de complexitate, într-un univers mult mai vast aflat în echilibru.

Aceasta ne aduce la subiectul cel mai speculativ din cosmologia modernă: distanțele foarte mari şi viitorul îndepărtat.

Nu există noțiune mai romantică decât infinitul, dar în ştiință conceptul acesta poate duce cu uşurință la confuzie. Să ne imaginăm că universul este infinit ca extindere spațială. Să ne imaginăm de asemenea că aceleaşi legi sunt valabile pretutindeni, dar condițiile inițiale au fost alese la întâmplare. Aceasta este imaginea universului boltzmannian perfect. Universul infinit este aproape în întregime în echilibru termodinamic; orice lucru interesant care se întâmplă e consecința

unei fluctuații. Dar orice se poate întâmpla într-o fluctuație se va întâmpla undeva, iar dacă aceste „undeva-uri“ sunt disponibile în cantitate infinită, fiecare fluctuație, indiferent cât de improbabilă, se va întâmpla de o infinitate de ori.[1]

Prin urmare, universul observabil ar putea fi doar o mare fluctuație statistică. Dacă universul e într-adevăr infinit, atunci universul observabil, care este o regiune cu diametrul de aproximativ 93 de miliarde de ani-lumină, se va repeta de o infinitate de ori în infinitatea spațiului. Aşadar, dacă universul este infinit şi boltzmannian, noi existăm, exact aşa cum suntem, şi acționăm, exact aşa cum acționăm, de o infinitate de ori.

Aceasta violează cu siguranță principiul leibnizian că în univers nu pot exista două locuri identice.

Dar nu numai atât. Imaginați-vă, în orice fel doriți, că ziua de azi putea fi diferită. Eu puteam să nu mă fi născut. Sau tu să te fi măritat cu primul tău prieten. Cineva s-a îmbătat cu un an în urmă, nu a ascultat sfatul prietenilor mei, a condus maşina spre casă, iar pe drum a lovit şi a omorât un copil. Vărul tău a fost schimbat din greşeală la naştere, a fost crescut de o familie abuzivă şi

a devenit un ucigaş în serie. A evoluat o specie de dinozauri inteligenți care au rezolvat problema schimbării climatice şi continuă să domine planeta, aşa încât mamiferele nu au preluat niciodată controlul. Toate acestea sunt lucruri care s-ar fi putut întâmpla, aducându-ne într-o altă configurație prezentă a universului. Fiecare asemenea configurație prezentă este un mod posibil în care atomii din vecinătatea noastră s-ar fi aranjat. Aşa încât fiecare apare de o infinitate de ori în infinitatea spațiului.

Pentru mine, este o perspectivă înfricoşătoare. Ea ridică probleme etice, căci de ce mi-ar păsa de consecințele alegerilor mele, de vreme ce toate celelalte alegeri sunt făcute de alte versiuni ale mele în alte regiuni ale universului infinit? Eu pot opta să am grijă de copilul meu în lumea asta, dar n-ar trebui oare să-mi pese şi de copiii din alte lumi care suferă din cauza deciziilor rele luate de alte euri ale mele?

Pe lângă aceste probleme etice, există aspecte care țin de utilitatea ştiinței. Dacă într-adevăr tot ce se poate întâmpla se întâmplă efectiv, atunci rostul explicațiilor se reduce mult. Principiul rațiunii suficiente al lui Leibniz cere să existe un motiv rațional pentru fiecare caz în care universul este

într-un fel, dar putea fi şi altfel. Însă dacă universul este în toate felurile posibile, atunci nu e nimic de explicat. Poate că ştiința ne permite să cunoaştem condițiile locale, dar în ultimă instanță e un exercițiu zadarnic, pentru că adevărata lege va fi pur şi simplu că tot ce se poate întâmpla se întâmplă de o infinitate de ori, chiar acum. Aceasta e un fel de *reductio ad absurdum* a paradigmei newtoniene extinsă asupra cosmologiei – şi o altă exemplificare a erorii cosmologice. Eu o numesc *tragedia boltzmanniană infinită*.

Un motiv pentru care e o tragedie este că puterea predictivă a fizicii se reduce considerabil, fiindcă probabilitățile nu înseamnă ce s-ar putea crede. Să presupunem că efectuăm un experiment pentru care mecanica cuantică prezice că rezultatul A are o probabilitate de 99%, iar rezultatul B are o probabilitate de 1%. Să presupunem că repetăm experimentul de 1.000 de ori. Ne-am putea aştepta atunci ca de aproximativ 990 de ori să obținem rezultatul A. Am paria cu încredere pe A, pentru că ne aşteptăm în mod rezonabil ca A să apară cam de 99 de ori pentru fiecare B. Am avea şanse bune să confirmăm predicția mecanicii cuantice. Dar într-un univers infinit există o infinitate de copii ale noastre care efectuează

experimentul. O infinitate dintre aceste copii observă rezultatul A, dar tot o infinitate observă şi rezultatul B. Prin urmare predicția mecanicii cuantice că unul dintre rezultate este de 99 de ori mai frecvent decât celălalt nu este verificabilă într-un univers infinit.

Aceasta se numeşte *problema măsurii* în cosmologia cuantică. După ce am citit şi i-am ascultat pe oamenii inteligenți care se ocupă de ea, părerea mea este că nu poate fi rezolvată. Prefer să cred că mecanica cuantică oferă dovada că trăim într-un univers finit care conține o singură copie a mea.

Putem evita implicațiile tragediei unui univers infinit negând că el este infinit în spațiu. Deşi, bineînțeles, nu putem vedea dincolo de o anumită distanță, mi se pare plauzibil şi de bun-simț să presupunem că universul este finit ca extindere spațială – ca în propunerea lui Einstein că este finit, dar nemărginit. Asta înseamnă că universul are topologia globală a unei suprafețe închise, precum o sferă sau un covrig (adică un tor).

Propunerea aceasta nu contrazice observațiile noastre. Care topologie este corectă depinde de curbura medie a spațiului. Dacă curbura e pozitivă, ca în cazul unei sfere, atunci există o singură posibilitate,

anume analogul tridimensional al topologiei bidimensionale a sferei. Dacă curbura medie a spațiului e zero, ca în cazul unui plan, există de asemenea o opțiune pentru un univers finit, care este analogul tridimensional al topologiei bidimensionale a unui tor. Dacă curbura e negativă, ca în cazul unei şei, atunci există un număr infinit de posibilități pentru topologia sa. Acestea sunt prea complexe pentru a le prezenta aici, iar catalogarea lor a fost un triumf al matematicii de la finele secolului XX.

Propunerea lui Einstein e o ipoteză ce ar putea fi confirmată. Dacă universul este închis şi suficient de mic, atunci lumina îi poate da ocol şi ar trebui să vedem imagini multiple ale galaxiilor îndepărtate. S-a căutat aşa ceva, dar până acum nu s-a găsit.

Există însă un motiv întemeiat pentru a prefera ca o teorie cosmologică să fie modelată de un spațiu-timp închis spațial. Dacă universul nu e închis spațial, el ar trebui să aibă o extindere spațială infinită. Ceea ce înseamnă, într-un mod contraintuitiv, că spațiul are o graniță. Granița aceasta e infinit de departe, şi totuşi este o graniță prin care informația poate trece.[2] În consecință, un univers infinit în spațiu nu poate fi considerat un sistem de sine stătător. El

trebuie considerat o parte a unui sistem mai vast, care include toate informațiile care intră prin graniță.

Dacă granița ar fi la o distanță finită, ne-am putea imagina că există spațiu şi în exteriorul ei. Informațiile despre graniță ar fi explicabile în termenii a ceea ce vine din lumea aflată dincolo de ea.[3]

Însă granița de la infinit nu ne permite să ne imaginăm o lume aflată dincolo de ea. Ni se cere pur şi simplu să precizăm informațiile despre ce intră şi ce iese pe acolo, dar alegerea e complet arbitrară. Nu pot exista explicații suplimentare pentru informația care intră în univers prin granița aflată la infinit: trebuie făcută o alegere, iar alegerea e arbitrară. Trebuie aşadar să admitem că nimic nu poate fi explicat în vreun model de univers care are o graniță la infinit. Principiul închiderii explicative e încălcat, iar odată cu el şi principiul rațiunii suficiente.

Argumentul acesta conține subtilități tehnice pe care nu le voi menționa aici. Dar este un argument esențial care, din câte ştiu, e ignorat de cosmologii care speculează că universul este infinit în spațiu. Nu văd nici o posibilitate de a evita concluzia că orice model de univers trebuie să fie închis spațial, fără graniță.

Prin urmare, nimic nu este infinit de departe şi nu există spații infinite care să creeze dificultăți. Să ne întoarcem acum atenția de la depărtările infinite către viitorul infinit.

*

Literatura cosmologilor e plină de anxietate cu privire la viitor. Dacă universul este, deocamdată, mai curând leibnizian decât boltzmannian, ar putea fi astfel doar temporar? Poate că pe termen lung nu numai noi toți vom muri, ci şi universul va muri.

Restricția la universuri finite spațial ne fereşte de multe dintre tragediile şi paradoxurile unui univers boltzmannian infinit. Dar nu de toate. Un univers finit şi închis spațial poate trăi un timp infinit, iar dacă nu se contractă niciodată, se va extinde veşnic. El dispune aşadar de un timp infinit ca să ajungă la echilibru termic. În acest caz, indiferent cât de mult ar dura, va rămâne un timp infinit şi un volum tot mai mare de spațiu pentru ca fluctuațiile să creeze structuri improbabile. În consecință, putem susține şi de data aceasta că tot ce se poate întâmpla se va întâmpla până la urmă de o infinitate de ori. Ceea ce ne duce din nou la paradoxul creierului Boltzmann. Pentru ca

principiile raţiunii suficiente şi al identităţii indiscernabilelor să fie satisfăcute, universul trebuie să evite cumva să sfârşească într-o asemenea stare paradoxală. Aceste principii limitează opţiunile pentru posibila soartă a universului.

Există o mică literatură ştiinţifică ce încearcă să schiţeze ce se va întâmpla în viitorul îndepărtat al universului. Ea este în întregime speculativă, deoarece pentru a raţiona asupra viitorului îndepărtat trebuie făcute câteva presupuneri majore. Una este că legile naturii nu trebuie să se schimbe niciodată, altminteri capacitatea noastră predictivă ar fi blocată. Şi nu trebuie să existe fenomene nedescoperite care ar putea să modifice cursul istoriei universului. De exemplu, ar putea exista o forţă atât de slabă încât nu a fost încă detectată, dar care să acţioneze pe distanţe enorme şi pe durate de timp mult mai lungi decât vârsta actuală a universului. Aceasta e o posibilitate care a fost avută în vedere. Dar ea împiedică orice predicţie bazată pe cunoaşterea actuală. Nu trebuie să existe nici alte surprize, ca de pildă ziduri de bule cosmice care se îndreaptă spre noi cu viteza luminii de dincolo de orizontul nostru prezent.

Presupunând că legile şi fenomenele bine stabilite sunt tot ce există, putem deduce, fără riscul de a greşi, următoarele:

În cele din urmă galaxiile vor înceta să producă stele. Galaxiile sunt sisteme gigantice pentru transformarea hidrogenului în stele. Ele nu sunt foarte eficiente; o galaxie spirală tipică produce aproximativ o stea pe an. După aproape 14 miliarde de ani, majoritatea universului încă mai constă în hidrogen şi heliu primordial. Dar cantitatea de hidrogen e finită, aşa încât nu poate exista decât un număr finit de stele. Chiar dacă tot hidrogenul este procesat în stele, în cele din urmă se va forma şi ultima stea. Iar aceasta e doar o limită superioară; cel mai probabil, procesele de neechilibru care dirijează formarea stelelor vor înceta cu mult înainte ca tot hidrogenul să fi fost transformat în stele.

Ultimele stele se vor stinge. Stelele au o durată de viață finită. Cele masive trăiesc câteva milioane de ani şi mor spectaculos ca supernove. Majoritatea trăiesc multe miliarde de ani şi sfârşesc cu un fâsâit ca pitice albe. Va veni o vreme când şi ultima stea va fi pierit.

Şi pe urmă?

După moartea ultimelor stele, universul este plin cu materie, materie întunecată, radiație şi energie întunecată. Ce se va întâmpla cu universul pe termen lung depinde în cea mai mare parte de componenta despre care ştim cel mai puțin: energia întunecată.

Energia întunecată este energie asociată cu spațiul vid. S-a observat că ea formează aproximativ 73% din masa-energie a universului. Natura ei rămâne deocamdată necunoscută, dar efectul ei asupra mişcării galaxiilor îndepărtate a fost observat. În particular, energia întunecată este invocată pentru a explica recent descoperita accelerare a expansiunii universului.

În afară de asta, nu ştim nimic despre ea. Ar putea fi pur şi simplu o constantă cosmologică, sau ar putea fi o formă exotică de energie cu densitate constantă. Deşi densitatea energiei întunecate pare să fie aproximativ constantă, nu ştim dacă într-adevăr este aşa, sau dacă ea se modifică mai lent decât au detectat observațiile până în prezent. Viitorul universului va fi foarte diferit după cum densitatea energiei întunecate rămâne constantă sau nu.

Să examinăm mai întâi scenariul în care energia întunecată îşi păstrează densitatea pe

măsură ce universul se extinde. Dacă are o densitate constantă, ea se comportă precum constanta cosmologică a lui Einstein. Ea nu scade odată cu expansiunea universului. Tot restul – toată materia şi radiația – se diluează odată cu expansiunea universului, iar densitatea totală de energie provenind de la acele surse scade treptat. După câteva zeci de miliarde de ani, totul este neglijabil, cu excepția densității de energie asociată constantei cosmologice.

Fiind un caz atât de simplu, ştim destul de bine ce se întâmplă. O consecință a expansiunii exponențiale este că roiurile de galaxii se separă atât de repede încât în curând ele nu se mai pot vedea unele pe altele. Fotonii care părăsesc un roi şi se deplasează cu viteza luminii nu se mişcă destul de repede pentru a ajunge din urmă alte roiuri. Observatorii din fiecare roi sunt înconjurați de un orizont dincolo de care au dispărut vecinii lor. Fiecare roi este atunci un sistem izolat. Interiorul fiecărui orizont devine un fel de cutie, delimitând un subsistem de restul universului. Prin urmare, metodele fizicii într-o cutie se aplică fiecăruia – ceea ce înseamnă că putem folosi metodele termodinamicii pentru a raționa asupra lor.

În acest moment al povestirii intervine un nou efect al mecanicii cuantice, făcând ca interiorul fiecărui orizont să se umple cu un gaz de fotoni în echilibru termic – un fel de ceață creată de procese analoage acelora care produc radiația Hawking a găurilor negre. Ea se numeşte *radiația orizontului*. Temperatura sa e extrem de scăzută, la fel şi densitatea, dar ele rămân constante pe măsură ce universul se extinde. Între timp, tot restul, inclusiv materia şi fondul cosmic de microunde, devine tot mai diluat, aşa încât după ce a trecut suficient timp radiația orizontului umple universul. Universul a ajuns la echilibru.

Această stare de echilibru persistă veşnic. Sfârşitul sub forma unui univers boltzmannian etern este inevitabil. Vor exista, desigur, fluctuații şi recurențe, iar din când în când o configurație sau alta a universului va reapărea exact – inclusiv paradoxul creierului Boltzmann pe care l-am prezentat în capitolul 16 ca *reductio ad absurdum* final al paradigmei newtoniene. Potrivit acestui scenariu, aparenta complexitate a universului nostru de până acum e doar o clipă infimă înainte ca el să se stabilizeze într-un echilibru etern.

Ştim aproape cu certitudine că nu suntem creiere Boltzmann, căci dacă am fi (aşa cum am menționat în capitolul 16), probabil că nu am vedea în jurul nostru un univers vast şi ordonat. Faptul că *nu* suntem creiere Boltzmann înseamnă că scenariul acesta pentru viitorul universului nostru e fals. Principiul rațiunii suficiente, acționând prin înlocuitorul său, principiul identității indiscernabilelor, de asemenea impune ca scenariul să fie fals. Întrebarea este cum poate fi el evitat.

Pentru ca universul să nu fie mort pe vecie, cel mai simplu ar fi ca densitatea materiei din univers să fie suficientă aşa încât să oprească expansiunea şi să-l facă să colapseze. Materia atrage gravitațional materia, ceea ce încetineşte expansiunea, deci dacă există suficientă materie, universul va colapsa într-o singularitate finală. Sau poate că efecte cuantice vor opri colapsul, iar universul va „ricoşa“, transformând contracția într-o expansiune care să ducă la un nou univers. Se pare însă că nu există destulă materie pentru a inversa expansiunea, şi cu atât mai puțin pentru a contracara efectul accelerator al energiei întunecate.

Următoarea posibilitate simplă de a evita un viitor mort pe vecie ar fi ca acea constantă

cosmologică să nu fie de fapt o constantă. Deşi avem dovezi că energia întunecată – care e practic constanta cosmologică – nu se modifică la scara vârstei actuale a universului, nu avem nici o dovadă că ea nu se va modifica pe termen lung. Schimbarea aceasta s-ar putea datora unei legi mai profunde, care acționează atât de lent încât efectele sale sunt perceptibile numai pe durate de timp lungi. Sau schimbarea ar putea fi efectul tendinței generale a legilor de a evolua. Într-adevăr, principiul că nu există acțiune fără reacțiune sugerează că constanta cosmologică trebuie să fie influențată de universul asupra căruia ea acționează decisiv.

Constanta cosmologică ar putea să scadă la zero. În acest caz, expansiunea încetineşte, dar cel mai probabil nu se inversează. Universul ar putea fi etern, dar static; aceasta, cel puțin, evită paradoxul creierului Boltzmann.

Dacă universul fără constantă cosmologică se extinde veşnic sau colapsează depinde în ultimă instanță de condițiile inițiale. Dacă energia expansiunii e suficientă pentru a învinge până la urmă atracția gravitațională reciprocă a tuturor lucrurilor din univers, el nu va colapsa niciodată. Dar chiar dacă universul e etern,

există multe şanse pentru renaştere, deoarece fiecare gaură neagră, ca rezultat al eliminării singularității ei, poate duce la naşterea unui univers-copil. După cum am menționat în capitolul 11, există dovezi teoretice că aceasta trebuie să se întâmple.

Dacă aşa stau lucrurile, atunci universul nostru, care e încă departe de a fi mort, a avut deja cel puțin un miliard de miliarde de progenituri. Aceste noi universuri vor da fiecare naştere alor progenituri. Faptul că fiecare univers poate muri la un anumit moment, după ce a zămislit atâtea altele, pare aşadar lipsit de însemnătate.

Există şi posibilități de renaştere care implică întregul univers, nu doar găurile sale negre. Aceasta e ipoteza studiată la o clasă de modele cosmologice numite modele ciclice. O specie de modele ciclice, inventate de Paul Steinhardt de la Universitatea Princeton şi Neil Turok de la Institutul Perimeter, realizează asta presupunând că constanta cosmologică scade la zero, după care se îndreaptă către valori negative mari.[4] Din motive pe care nu le voi explica aici, aceasta provoacă un colaps spectaculos al întregului univers. Ei arată însă că acest colaps e urmat de un ricoşeu şi o re-expansiune. Ricoşeul se

poate datora efectelor gravitației cuantice, sau singularitatea finală ar putea fi evitată prin valoarea extremă a energiei întunecate.

Dovezile teoretice că acele singularități finale cosmologice ricoşează datorită efectelor cuantice, ducând la o re-expansiune a universului, sunt şi mai puternice decât în cazul singularităților găurilor negre.[5] În cadrul gravitației cuantice cu bucle au fost studiate mai multe modele ale efectelor cuantice din apropierea singularităților cosmologice, iar rezultatul este că ricoşeul e un fenomen universal. Se impune însă avertismentul că acestea sunt doar modele, şi deocamdată ele fac presupuneri drastice. Presupunerea-cheie este că universul e omogen spațial. Lucrul de care suntem cel mai siguri este că regiunile extrem de uniforme ale universului – regiuni fără unde gravitaționale sau găuri negre – ricoşează pentru a da naştere unor noi universuri.

În cel mai rău caz, regiunile extrem de neomogene nu vor ricoşa. Ele doar colapsează în singularități, unde timpul se opreşte. Însă chiar şi acest caz nefavorabil are o parte bună, fiindcă ar oferi un principiu de selecție pentru a determina care regiuni ale universului ricoşează şi se reproduc. Dacă numai regiunile cele mai omogene

ricoşează, atunci începuturile noilor universuri, imediat după ricoşeu, vor fi de asemenea foarte omogene.[6] Aceasta oferă o predicție: foarte devreme, imediat după ricoşeu, universul e extrem de omogen – nu există găuri negre sau albe, nici unde gravitaționale, aşa cum vedem în universul nostru.

Dar pentru ca scenariul universului care ricoşează să fie ştiință, e nevoie de cel puțin încă o predicție prin care ipoteza să poată fi testată. Există cel puțin două, legate de spectrul fluctuațiilor din CMB. Scenariul ciclic oferă o explicație pentru acele fluctuații, explicație care nu necesită scurta perioadă de inflație extremă considerată adesea cauza lor. Spectrul fluctuațiilor pe care l-am observat până acum este reprodus, dar sunt două deosebiri între predicțiile modelelor ciclice şi cele ale inflației, iar aceste predicții pot fi testate experimental în prezent sau în viitorul apropiat. Un test este dacă în CMB se vor observa unde gravitaționale; inflația spune că da, iar modelele ciclice spun că nu. Modelele ciclice prezic de asemenea că radiația CMB nu e complet aleatorie – în limbaj tehnic, ele prezic non-gaussianitate.[18]

Modelele ciclice sunt exemple pentru felul în care, considerând că timpul e fundamental – în sensul că nu a început la big bang, ci a existat înaintea acestuia –, suntem conduşi spre o cosmologie mai predictivă. Un alt exemplu este cel al teoriilor în care se presupune că viteza luminii a fost diferită – de fapt, mult mai mare – în universul foarte timpuriu. Aceste aşa-numite *teorii cu viteza luminii variabilă* selectează un concept de timp privilegiat într-un mod care încalcă principiile teoriei relativității. Prin urmare, ele nu se bucură de popularitate, dar promit să explice fluctuațiile CMB fără a recurge la inflatie.

Roger Penrose a propus un alt scenariu prin care universul să dea naştere unui nou univers.[7] În linii mari, el acceptă scenariul unui univers boltzmannian etern cu o constantă cosmologică fixă, iar apoi se întreabă ce se întâmplă după trecerea unui timp infinit. (Numai Penrose putea pune o asemenea întrebare.) El arată că după un anumit timp toate particulele elementare cu masă, incluzând protonii, cuarcii şi electronii, se vor dezintegra, şi vor rămâne doar fotonii şi alte particule fără masă. În acest caz, nu va exista nimic care să detecteze trecerea infinită a eternității,

deoarece fotonii, care se deplasează cu viteza luminii, nu percep deloc timpul. Pentru un foton, eternitatea universului foarte târziu va fi indiscernabilă de universul foarte timpuriu. Singura deosebire va fi temperatura. Ce-i drept, diferența de temperatură este enormă, dar e vorba de o singură scară. Penrose susține că o singură scară nu contează. Într-un gaz de fotoni descrişi relațional, tot ce contează sunt comparațiile, sau rapoartele, între lucrurile care există simultan; scara globală nu poate fi detectată. Aşadar, universul târziu, umplut cu un gaz rece de fotoni şi alte particule fără masă, devine indiscernabil de gazul fierbinte, alcătuit din aceleaşi particule, care a umplut universul timpuriu. Potrivit principiului identității indiscernabilelor, universul târziu reprezintă de asemenea naşterea unui alt univers.

Scenariul lui Penrose se desfăşoară numai după un timp infinit, aşa încât nu rezolvă paradoxul creierului Boltzmann. Dar el prezice că în rămăşițele big bang-ului există fosile ale universului trecut, din care am putea obține informații despre acesta. Deşi multă informație e distrusă de eternitatea petrecută în echilibru termic, un purtător de informație care nu e niciodată dezorganizat este radiația gravitațională. Informația

purtată de undele gravitaționale supraviețuieşte şi ricoşeului din modelele ciclice şi ajunge în noul univers.

Cele mai puternice semnale purtate de undele gravitaționale sunt imagini ale ciocnirilor dintre marile găuri negre ascunse cândva în centrele galaxiilor de mult dispărute. Acestea se propagă spre exterior, formând mari cercuri pe cer. Ele călătoresc veşnic şi supraviețuiesc tranziției către noul univers. În consecință, prezice Penrose, aceste cercuri mari ar trebui să fie vizibile în fondul cosmic de microunde, a cărui structură a fost fixată de timpuriu în universul nostru. Ele sunt umbre ale unor evenimente din precedentul univers.

În plus, Penrose prezice că ar trebui să existe o mulțime de cercuri concentrice. Acestea provin din roiurile de galaxii în care, de-a lungul timpului, au avut loc mai multe ciocniri între găurile negre galactice. Este o predicție remarcabilă pentru tiparul CMB, foarte diferită de cea a majorității scenariilor cosmologice. Dacă ceva atât de improbabil se confirmă, ar trebui considerat drept o dovadă în favoarea scenariului care a produs această predicție.

La data când scriu nu e clar dacă cercurile concentrice ale lui Penrose pot fi observate

în CMB.[8] Indiferent care va fi rezultatul, vedem încă odată că scenariile cosmologice în care universul nostru a evoluat dintr-un univers pre-big bang fac predicții ce pot fi confirmate sau infirmate prin observații, spre deosebire de scenariile în care universul este unul dintr-o pluralitate simultană de lumi – scenarii care nu fac şi, probabil, nici nu pot face predicții reale.

În capitolul 10 am argumentat că o explicație rațională a motivului pentru care anumite legi şi condiții inițiale din universul nostru au necesitat ca selecția să fi avut loc de mai multe ori este că altminteri nu am putea şti de ce a fost făcută tocmai acea alegere – pe când dacă aceleaşi condiții inițiale şi legi au apărut de multe ori, ar putea exista motive pentru asta. Am examinat două moduri în care pot fi aranjate numeroasele big bang-uri – simultan sau consecutiv – şi am arătat că numai în ultimul caz putem spera să elaborăm o cosmologie capabilă să răspundă la întrebarea „De ce legile acestea?“, o cosmologie ştiințifică în sensul de a furniza predicții falsificabile. În capitolul de față am revenit pentru a compara cele două variante, şi am văzut în detaliu că

numai în cazul universurilor consecutive există predicții reale pentru experimente posibile.

Cosmologia devine aşadar mai ştiințifică, iar ideile noastre mai vulnerabile la testare, dacă lucrăm într-un cadru în care timpul este real şi fundamental, iar istoria universului e o parte necesară pentru a înțelege starea sa actuală. Cei împovărați de prezumția metafizică potrivit căreia scopul ştiinței este să descopere adevăruri eterne reprezentate de obiecte matematice eterne ar putea crede că eliminarea timpului, şi deci asemuirea universului cu un obiect matematic, este calea către o cosmologie ştiințifică. Dar contrariul se dovedeşte a fi adevărat. Aşa cum Charles Sanders Peirce a înțeles cu mai mult de un secol în urmă, *legile trebuie să evolueze pentru a putea fi explicate*.

---

18. Adică radiația CMB nu se conformează distibuției gaussiene (distribuția normală – caracteristică pentru procesele aleatorii) (n. red.).

19. Viitorul timpului

În partea a II-a am revenit din atemporalitate pentru a aşeza timpul în locul său legitim, în centrul perspectivei noastre asupra lumii. Argumentele prezentate în partea I în favoarea irealității timpului păreau solide, dar toate depind de extinderea paradigmei newtoniene la o teorie completă a universului în ansamblul său. După cum am văzut, înseşi trăsăturile care fac din acea paradigmă o metodă de succes pentru a descrie fizica unor mici părți din univers îi subminează aplicarea la întregul univers. Pentru a continua să progresăm în cosmologie (şi în fizica fundamentală) avem nevoie de un nou concept de lege a naturii, valabil la scară cosmologică, care să evite erorile, dilemele şi paradoxurile şi să răspundă la întrebările pe care vechiul cadru nu le poate aborda. Mai mult, trebuie să fie o teorie ştiințifică – altfel spus, trebuie să facă predicții falsificabile pentru experimente noi, dar realizabile.

În capitolul 10, am început căutarea unui asemenea cadru nou enunțând principiile de bază care să ne călăuzească cercetarea. Între

ele, de maximă importanță este principiul lui Leibniz al rațiunii suficiente, care ne obligă să căutăm un motiv rațional pentru orice alegere care a stabilit ca universul să fie într-un fel, şi nu în altul. Acesta implică principii suplimentare: al identității indiscernabilelor, al închiderii explicative şi al acțiunii şi reacțiunii. Aceste principii creează cadrul unei abordări relaționale a tuturor proprietăților lucrurilor din natură.

Am arătat apoi că singura cale de a satisface aceste principii şi a descoperi o teorie cosmologică aplicabilă e să presupunem că legile naturii evoluează în timp. Aceasta impune ca timpul să fie real şi global. Un progres promițător îl reprezintă dinamica formelor, care, după cum am văzut în capitolul 14, face apel la un timp global privilegiat în cadrul relativității generale.

Ideea de timp real, în care legile naturii evoluează, împreună cu principiile noastre, ne oferă baza pentru o nouă teorie cosmologică. Rezultatele prezentate în partea a II-a în capitolele 11–18 nu sunt deocamdată stabilite cu certitudine şi nu constituie încă o teorie coerentă. Ele oferă în schimb o perspectivă privind felul în care am putea ajunge la o nouă concepție atât asupra universului, cât şi asupra sarcinii

cosmologiei. Toate sunt speculative, dar câteva dintre ele fac predicții testabile autentice pentru experimente realizabile. Indiferent dacă vreuna va fi confirmată experimental sau nu, cel puțin ele demonstrează că ipoteza realității timpului conduce la o cosmologie mai ştiințifică.

Noțiunea de timp real şi global este utilă şi pentru rezolvarea altor probleme nesoluționate din fizică. De exemplu, trebuie să depăşim nivelul predicțiilor statistice ale mecanicii cuantice pentru a descrie şi explica ce se întâmplă în evenimentele individuale. În capitolele 12 şi 13 am prezentat două abordări noi ale unei teorii mai profunde a fenomenelor cuantice, ambele impunând ca timpul să fie fundamental. Aceste abordări par să se deosebească de mecanica cuantică în suficientă măsură pentru a putea fi distinse de ea experimental.

Un alt domeniu în care operează timpul real este descrierea comportamentului din lumea macroscopică, unde termodinamica emerge împreună cu concepte precum temperatura, presiunea, densitatea şi entropia. La acest nivel necuantic, timpul pare să aibă un pronunțat caracter direcțional, şi putem discerne mai multe săgeți ale timpului care disting categoric

trecutul de viitor. Într-o teorie în care timpul e neesențial sau emergent, această asimetrie temporală a universului este enigmatică. Ea ne obligă să punem cele mai evidente şi vizibile trăsături ale lumii pe seama unei alegeri extrem de improbabile a condițiilor inițiale. Dificultatea poate fi evitată presupunând că timpul este real şi că teoria fundamentală e la fel de asimetrică în raport cu timpul pe cât se dovedeşte a fi universul însuşi.

Totuşi, una este să spui că timpul e real, şi cu totul altceva să afirmi că are sens să vorbim despre ce se întâmplă „chiar acum“ pretutindeni în univers – adică simultan cu experiența noastră a trecerii timpului. Ideea de timp global înseamnă că experiența noastră a trecerii timpului e împărtăşită pe tot cuprinsul universului, ceea ce, desigur, intră direct în contradicție cu relativitatea simultaneității din relativitatea restrânsă şi generală. Problema contradicției trebuie abordată, fiindcă relativitatea simultaneității, împreună cu ideea că realitatea e o noțiune împărtăşită, conduce, după cum am văzut în capitolul 6, la imaginea universului-bloc, în care aspectul fundamental al experienței noastre – trecerea timpului – nu este real.

Am putea încerca să imaginăm un sens în care timpul e real, fără să contrazică relativitatea simultaneității – dar asta ar presupune o perspectivă asupra realității fie solipsistă, fie dependentă de observator, în care distincția dintre prezentul real şi viitorul care va deveni real nu e o proprietate obiectivă împărtăşită de toți observatorii. Şi, după cum am subliniat, ipoteza timpului global e foarte utilă pentru a depăşi mecanica cuantică şi a înțelege spațiul ca emergent. Este important să observăm de asemenea că ipoteza timpului global nu contrazice neapărat confirmările experimentale ale relativității restrânse, aşa cum am văzut că se întâmplă în dinamica formelor. Până la urmă, ipoteza că în natură există un timp global privilegiat trebuie validată experimental, de aceea am adoptat ipoteze care pot conduce la noi predicții prin care ele să poată fi verificate.

*

Ideea că legile evoluează promite să crească puterea de predicție a fizicii fundamentale. Dar ea aduce cu sine o ultimă dilemă. E firesc să ne întrebăm dacă există o lege care guvernează modul cum evoluează legile. O asemenea lege, care acționează asupra

legilor, iar nu direct asupra particulelor elementare, poate fi numită *meta-lege*. Acțiunea unei meta-legi ar putea fi dificil de observat, întrucât e posibil ca ea să acționeze doar în cursul unor episoade violente precum big bang-ul. Dacă însă vrem o explicație completă a universului nostru, care să satisfacă pe deplin ambiția principiului rațiunii suficiente, n-ar trebui oare să existe o asemenea meta-lege?

Dar să presupunem că există o meta-lege. Nu ar trebui atunci să ne întrebăm de ce această meta-lege, şi nu alta, guvernează evoluția legilor în universul nostru? Iar dacă o meta-lege poate acționa asupra unor legi din trecut pentru a produce legi în viitor, o parte a explicației pentru legile care sunt în prezent va depinde de legile care au fost în trecut, aşa încât nu putem evita întrebarea „De ce aceste condiții inițiale?“. Ipoteza meta-legii poate conduce la o regresie infinită (la întrebarea „De ce această meta-lege?“ s-ar putea răspunde prin meta-meta-legi, şi aşa mai departe). Acesta e un aspect al dilemei. Celălalt e posibilitatea să *nu* existe nici o meta-lege. Evoluția legilor ar conține atunci un element aleatoriu, rezultatul fiind din nou că nu totul este explicabil, iar principiul rațiunii suficiente nu

e fundamental în ştiință. Roberto Mangabeira Unger şi cu mine numim aceasta *dilema meta-legilor*.

La prima vedere ar putea părea o fundătură, dar după câțiva ani de reflecții am ajuns să cred că, dimpotrivă, este o mare şansă pentru ştiință, o provocare de a inventa un nou tip de teorie care s-o rezolve. Sunt convins că dilema meta-legilor poate fi rezolvată şi că modul de a o rezolva va fi cheia descoperirilor ce vor permite progresul cosmologiei şi al fizicii fundamentale în acest secol.

Dilema meta-legilor e temporar ocolită de selecția naturală cosmologică (vezi capitolul 11) prin ipoteza unei meta-legi limitate şi statistice. Atunci când am postulat că parametrii Modelului Standard se modifică cu mici cantități aleatorii la fiecare ricoşeu, am descris un tip de meta-lege care ocoleşte parțial dilema. Desigur, vrem să ştim mai mult despre felul în care se întâmplă asta şi să putem descrie mecanismul care generează modificările aleatorii ale parametrilor. O cunoaştere mai aprofundată ar putea fi oferită de o teorie cuantică a gravitației, ca de pildă gravitația cuantică cu bucle sau teoria corzilor (aceasta din urmă fiind contextul în care ideea a fost concepută inițial). Dar chiar

şi fără alte cunoştinţe, ipoteza selecției naturale cosmologice are putere explicativă şi e falsificabilă.

Principiul precedentului este o altă abordare a meta-legilor. Fiind parțial statistic, şi el ocoleşte – sau cel puțin amână – dilema meta-legilor. Chiar şi amânarea unei dileme poate fi profitabilă, făcând loc unor ipoteze ce pot fi investigate experimental şi, la rândul lor, sugerează noi întrebări şi abordări. Dar pentru a rezolva definitiv dilema meta-legilor, dinamica prin care evoluează legile trebuie să difere suficient de legile familiare nouă, aşa încât întrebările „De ce această meta-lege?“ şi „De ce aceste condiții inițiale?“ să nu apară.

Iată o abordare care rezolvă dilema într-un mod surprinzător: să presupunem că oricare două propuneri pentru o meta-lege sunt echivalente – adică, ele au efecte identice asupra felului în care evoluează legile.[1] Ar putea exista un *principiu al universalității meta-legii*, la fel cum există universalitate în calcul. În acel domeniu, „universalitate“ înseamnă că orice funcție care poate fi calculată pe un computer poate fi calculată pe oricare altul, indiferent ce sistem de operare foloseşte. Ideea de universalitate a meta-legilor este analoagă, ea afirmând că nu

are nici o importanță care meta-lege operează, întrucât toate predicțiile experimentale vor fi aceleaşi.

O altă abordare a ştiinței cosmologiei care transcende paradigma newtoniană este să ne imaginăm o uniune între lege şi configurație. Nu vor exista două lucruri de cunoscut – legea şi starea –, ci doar unul, care le unifică într-o *meta-configurație* ce conține informații despre amândouă. Această idee e în acord cu ipoteza că tot ce este real este real în momentul prezent. Specificarea unei legi şi a unei configurații nu pot fi foarte diferite, de aceea le unificăm într-o singură meta-configurație. La fel cum Galilei a unificat domeniile ceresc şi pământesc, poate că este momentul să unificăm umbra lor, care este distincția între legea atemporală şi configurația dependentă de timp.

Evoluția meta-configurației ar fi determinată de o regulă atât de simplă încât este explicată de un principiu al universalității. Alegerea configurației inițiale ar preciza legea inițială precum şi condițiile inițiale. Ar exista aspecte ale configurației care evoluează rapid, iar altele care evoluează mult mai lent. Primele ar reprezenta configurația, care ar evolua prin ceea ce am putea numi legi, specificate de

aspectele care se modifică mai lent. Dar pe intervale de timp lungi, distincția dintre legi şi configurații ar dispărea. Am elaborat un model simplu al acestei idei care, deocamdată, nu e prea realist.[2]

Aceste două idei, împreună cu principiul precedentului şi cu selecția naturală cosmologică, ne oferă deja patru metode de abordare a dilemei meta-legilor. Fără îndoială că sunt doar primii paşi. Nu este o exagerare să spunem că direcția cosmologiei secolului XXI va fi determinată de modul cum e rezolvată dilema meta-legilor.

*

În capitolul introductiv am formulat câteva întrebări despre rolul jucat de matematică în ştiință. Înainte să încheiem, vreau să revin pe scurt asupra acestui subiect, deoarece trebuie să fie clar că realitatea timpului are implicații importante asupra rolului matematicii în fizică.

În cadrul paradigmei newtoniene, un spațiu al configurațiilor atemporal poate fi descris ca un obiect matematic. Legile pot fi de asemenea reprezentate de obiecte matematice, la fel şi soluțiile lor, care sunt istorii posibile ale sistemului. Matematica nu corespunde proceselor fizice reale, ci doar

unor înregistrări ale lor odată ce s-au încheiat – înregistrări care şi ele sunt, prin definiție, atemporale. Lumea rămâne însă mereu un mănunchi de procese care evoluează în timp, şi doar mici părți ale ei sunt reprezentabile prin obiecte matematice atemporale.

Întrucât paradigma newtoniană nu poate fi extinsă pentru a include tot universul, nu e necesar să existe un obiect matematic care să corespundă istoriei exacte a întregului univers. După cum nu e necesar să existe, pentru tot universul, un spațiu al configurațiilor atemporal şi legi atemporale reprezentate ca obiecte matematice universale atemporale.

John Archibald Wheeler obişnuia să scrie ecuații pe tablă, după care făcea un pas înapoi şi spunea: „Iar acum voi bate din palme şi va apărea un univers.“ Bineînțeles că nu apărea.[3] În *Scurtă istorie a timpului* Stephen Hawking se întreba: „Ce este ceea ce animă ecuațiile şi le face să descrie universul?“[19] Asemenea afirmații dezvăluie absurditatea ideii că matematica precedă natura. În realitate, matematica urmează după natură. Ea nu are putere generatoare. Un alt fel de a spune asta e că în matematică concluziile sunt impuse prin implicație logică, pe când în natură evenimentele sunt

generate de procese cauzale care acționează în timp. Nu este acelaşi lucru; implicațiile logice pot conduce la modele pentru unele aspecte ale proceselor cauzale, dar ele nu sunt identice cu procesele cauzale. Logica nu este oglinda cauzalității.

Logica şi matematica surprind aspecte ale naturii, dar niciodată întreaga natură. Există aspecte ale universului real care niciodată nu vor putea fi reprezentate matematic. Unul dintre acestea e faptul că în lumea reală întotdeauna este un anumit moment.

Aşadar unul dintre cele mai importante învățăminte care rezultă odată ce înțelegem realitatea timpului este că natura nu poate fi captată într-un singur sistem logic sau matematic. Universul doar este – sau, mai bine zis, se petrece. El este unic şi se petrece o singură dată, la fel ca orice eveniment – orice eveniment unic – conținut în natură. „De ce există universul, de ce există ceva mai degrabă decât nimic?“ probabil că sunt întrebări fără răspuns – dacă nu cumva, pesemne, a exista înseamnă a fi în relație cu alte lucruri care există, iar universul e pur şi simplu mulțimea tuturor acelor relații. Universul însuşi nu are nici o relație cu ceva

din afara lui. Întrebarea „De ce el există, în loc să nu existe?“ depăşeşte domeniul principiului raţiunii suficiente.

În ce formă trebuie exprimate descoperirile cosmologiei, dacă nu într-o singură lege matematică atemporală care acţionează asupra unui spaţiu atemporal al condiţiilor iniţiale? Aceasta e o întrebare de care depinde viitorul cosmologiei. Dacă ne gândim puţin, se conturează unele răspunsuri posibile.

Exemplele pe care le-am dat, cum ar fi selecţia naturală cosmologică şi principiul precedentului, demonstrează că putem concepe teorii ştiinţifice testabile care transcend paradigma newtoniană. Se cuvine să reflectăm asupra faptului că în istoria ştiinţei sunt multe ipoteze care nu au nevoie să fie enunţate matematic. Iar în unele cazuri nu-i nevoie de matematică pentru a deduce consecinţele lor. Un exemplu este teoria selecţiei naturale; unele aspecte ale sale au fost captate în modele matematice simple, dar nu există un singur model care să surprindă toată diversitatea mecanismelor prin care selecţia naturală acţionează în natură. Într-adevăr, oricând pot apărea noi mecanisme de evoluţie, odată ce se nasc specii noi.

Pentru a fi ştiinţifice, ipotezele trebuie să sugereze observaţii prin care să poată fi confirmate sau falsificate. Uneori asta necesită o formulare matematică, alteori nu. Matematica e un limbaj al ştiinţei şi constituie o metodă eficientă şi importantă. Dar aplicarea ei în ştiinţă se bazează pe identificarea rezultatelor calculelor matematice cu rezultatele experimentale, iar întrucât experimentele au loc în afara matematicii, în lumea reală, legătura dintre cele două trebuie exprimată în limbajul obişnuit. Matematica e un instrument remarcabil, dar limbajul fundamental care guvernează ştiinţa este chiar limbajul obişnuit.

*

Provocarea cu care ne confruntăm nu trebuie subestimată. Ştiinţa cosmologică se află în criză, iar singura certitudine este că, dacă vom continua pe baza metodologiilor care ne-au slujit atât de bine până acum, nu vom ajunge nicăieri. Vedem din paradoxurile care rezultă ce se întâmplă dacă încercăm să folosim paradigma newtoniană standard ca bază pentru cosmologie. Trebuie aşadar să înaintăm în necunoscut. Avem de ales între programe radicale. Care este cel corect

putem decide numai după ce vedem care direcție duce la predicții testabile pentru noi observații, iar observațiile acelea sunt efectuate. Ne vom aştepta de asemenea ca orice nouă teorie să ofere explicații solide pentru fapte cunoscute, dar deocamdată misterioase. Trebuie să încurajăm diverse abordări ale acestor probleme dificile.

Alegerile sunt totuşi fără echivoc. Pentru a compara opțiunile care ne stau în față, enumăr în continuare perechi de afirmații opuse cu care ne-am întâlnit în cartea aceasta. Ele conturează implicațiile faptului de a considera că timpul e o iluzie sau e esența realității.

Timpul este o iluzie. Adevărul şi realitatea sunt atemporale.

Spațiul şi geometria sunt reale.

Legile naturii sunt atemporale şi inexplicabile, exceptând selecția prin principiul antropic.

Viitorul este determinat de legile fizicii care acționează asupra condițiilor inițiale ale universului.

Istoria universului este, în toate aspectele sale, identică cu un anumit obiect matematic.

Universul este infinit în spațiu. Predicțiile probabilistice sunt problematice, fiindcă se reduc la raportul a două mărimi infinite.

Singularitatea inițială este începutul timpului (atunci când timpul e cumva definit) şi este inexplicabilă.

Universul nostru observabil este unul dintr-o mulțime infinită de universuri existente simultan, dar neobservabile.

Echilibrul este starea naturală şi destinul inevitabil al universului.

Complexitatea şi ordinea care se observă în univers sunt un accident aleatoriu datorat unei fluctuații statistice rare.

Mecanica cuantică e teoria finală, iar interpretarea ei corectă este că există o infinitate de istorii alternative reale.

În ştiință, nimic nu e sigur. În fața incertitudinii, ce putem face este să încercăm să construim argumente raționale pentru diverse ipoteze. Asta am făcut eu aici. Dar,

deşi testul suprem este experimentul, putem trage unele concluzii din cât de fertil este un program de cercetare în noi ipoteze şi în predicții cu ajutorul cărora ele pot fi verificate.

> Timpul este cel mai real aspect al percepției noastre asupra lumii. Tot ce e adevărat şi real este astfel într-un moment care e unul dintr-o succesiune de momente.
>
> Spațiul este emergent şi aproximativ.
>
> Legile naturii evoluează în timp şi pot fi explicate prin istoria lor.
>
> Viitorul nu este în întregime predictibil, şi ca atare e parțial deschis.
>
> Multe regularități din natură pot fi modelate prin teorii matematice. Dar nu orice proprietate a naturii se reflectă în matematică.
>
> Universul este infinit în spațiu. Probabilitățile sunt frecvențe relative obişnuite.
>
> Big bang-ul este de fapt un ricoşeu [*bounce*] care trebuie explicat prin istoria anterioară a universului.

Universul nostru este un stadiu într-o succesiune de ere ale universului. Fosile sau rămăşiţe ale erelor precedente pot fi observate în datele cosmologice.

Numai mici subsisteme ale universului nostru ajung la echilibru uniform; sistemele legate gravitațional evoluează către configurații structurate eterogene.

Universul se auto-organizează în mod natural către niveluri de complexitate tot mai mari, sub acțiunea gravitației.

Mecanica cuantică este o aproximație a unei teorii cosmologice necunoscute.

Programul de cercetare bazat pe universul atemporal care adoptă mecanica cuantică şi multiversul ca teorie finală e în desfăşurare de mai bine de două decenii. El nu a produs încă nici măcar o singură predicție falsificabilă pentru un experiment realizabil în prezent. În cel mai bun caz, a produs speculații privind un fenomen nou, ciocnirea universurilor-bule, ale căror rămăşiţe ar putea fi observate dacă avem noroc. Aceste speculații nu sunt însă predicții falsificabile, pentru că infirmarea lor poate fi explicată cu uşurință fără ca speculația să aibă de suferit.

Nici dificultățile esențiale cu care se confruntă acest program nu au fost rezolvate, în pofida multor ani de muncă a unor oameni de ştiință inteligenți şi perseverenți. Aceste dificultăți se leagă de obținerea unor predicții în condițiile în care universul e unul dintr-o mulțime infinită de universuri, toate cu excepția unuia singur fiind neobservabile; de definiția probabilităților atunci când există un număr infinit de copii ale fiecărui eveniment; şi de faptul fundamental că nici teoria, nici observația nu constrâng prea mult inventarea unor scenarii despre lucruri ce pot fi adevărate, dar inaccesibile observațiilor noastre.

E imposibil să fim siguri că nimic important nu va rezulta din investigarea acestor idei, dar pare probabil că istoria le va considera eşecuri – eşecuri provocate de o abordare greşită a unei probleme fundamentale în ştiință. Eşecul rezultă din aplicarea la tot ce există a unei metode adecvate pentru studierea unor mici părți ale universului.

Dacă l-am caracterizat corect, eşecul nu e superficial şi nu poate fi remediat inventând pur şi simplu un alt scenariu de acelaşi tip. La întrebările cosmologice „De ce aceste legi?“ şi „De ce aceste condiții inițiale?“ nu

se poate răspunde folosind o metodă pentru care legile şi condiţiile iniţiale sunt date de intrare. Remediul trebuie să fie radical, implicând nu doar inventarea unei teorii noi, ci şi a unei metode noi, şi deci a unui tip nou de teorie.

Deşi sarcina e extrem de dificilă, avem câteva atuuri de partea noastră. Primele încercări, foarte probabil rudimentare, de a formula ipoteze asupra evoluţiei legilor – ipoteze care implică o posibilă istorie a universului înainte de big bang – au dus la predicţii falsificabile pentru observaţii realizabile. Acestea includ predicţiile selecţiei naturale cosmologice şi predicţiile cosmologiilor ciclice. Este prea devreme să spunem dacă vreuna dintre aceste idei e adevărată, dar e încurajator să ştim că observaţii actuale şi din viitorul apropiat ar putea duce la infirmarea lor. Aceste exemple simple sugerează că scenariile în care universul e o etapă într-o succesiune de universuri sunt testabile, deci ştiinţifice.

Celălalt atu în favoarea noastră este înţelepciunea celor mai profunzi gânditori cosmologici din istorie, în special Leibniz, Mach şi Einstein. De la ei avem câteva principii care ne-au servit până acum ca excelente călăuze în dezvoltarea fizicii.

Cea mai radicală sugestie care decurge din această direcție de gândire este insistența asupra realității momentului prezent şi, dincolo de asta, principiul că tot ce este real e astfel într-un moment prezent. În măsura în care aceasta e o idee rodnică, fizica nu mai poate fi înțeleasă drept căutarea unei dubluri matematice riguros identice a universului. Acel vis trebuie considerat acum o fantezie metafizică ce a putut să inspire generații de teoreticieni, dar acum blochează calea către progrese ulterioare. Matematica va fi în continuare slujitoarea ştiinței, dar ea nu mai poate fi Regina.

Recompensa pentru sacrificarea unei regine e o perspectivă mai democratică asupra inventarului teoriilor fizice. La fel cum s-a renunțat de mult la distincția dintre regalitate şi oamenii de rând, trebuie să respingem şi să depăşim o distincție absolută între stările de lucruri în lume şi legile prin care ele evoluează în timp. Nu se mai poate considera că legi eterne, absolute, dictează evoluția configurației dependente de timp a lumii. Dacă tot ce este real e real într-un moment, atunci distincția dintre legi şi stări trebuie să fie una relativă, care apare şi este discernabilă în ere cosmologice relativ reci şi calme precum a noastră. Dar în alte epoci,

mai violente, distincția trebuie să se dizolve într-o descriere nouă, complet dinamică a lumii, care e rațională şi corespunde principiului rațiunii suficiente.

Permițând legilor să evolueze în timp, ne sporim şansele de a le explica prin ipoteze care au consecințe testabile. A accepta ca legile să evolueze în timp pare să le diminueze puterea, dar în realitate creşte astfel puterea globală a ştiinței, pe când extinderea ideilor care funcționează în paradigma newtoniană asupra domeniului cosmologiei diminuează puterea ştiinței. Dacă în perspectiva noastră asupra naturii includem evoluția şi timpul la nivelurile cele mai profunde, avem mai multe şanse să înțelegem universul misterios în care ne aflăm.

Va avea succes această nouă cale? Numai timpul ne-o va spune.

---

19. Stephen Hawking, *Scurtă istorie a timpului*, trad. de Michaela Ciodaru, Humanitas, Bucureşti 1994 (n. tr.).

EPILOG
Gândind în timp

Toate progresele civilizației umane, de la inventarea primelor unelte la tehnologiile noastre cuantice incipiente, sunt rezultatul aplicării disciplinate a imaginației. Imaginația e organul care ne permite să prosperăm la cumpăna dintre primejdie şi şansă; este o adaptare la realitatea timpului. Suntem excelenți vânători sau culegători, şi putem procesa informația, dar suntem mult mai mult decât atât: avem capacitatea să imaginăm situații care nu rezultă din datele de care dispunem. Imaginația ne permite să anticipăm pericole înainte ca ele să fie iminente, ceea ce înseamnă că ne putem pregăti să le întâmpinăm. Suntem o pradă uşoară pentru un tigru noaptea, şi odată ce s-a năpustit asupra copiilor noştri nu-l putem împiedica să-i mănânce. Dar fiindcă ne-am imaginat lucrul acesta, aprindem un foc care-l ține la distanță.

A şti că putem aprinde un foc pentru a ține tigrii la distanță poate că nu pare ceva

impresionant, dar gândiți-vă la persoana care a făcut asta pentru prima oară în urmă cu câteva sute de mii de ani. Pe atunci trebuie să fi părut o nebunie să foloseşti un pericol de moarte pentru a te feri de altul. Simpla idee că focul poate fi controlat trebuie să fi necesitat o imaginație şi un curaj formidabile. În lumea modernă, focul este ascuns pretutindeni în locuințele noastre, în firele din pereți, în sobă, în cazanul de încălzire din subsol. Nici măcar nu ne gândim la el – cel puțin până când suntem în maşină mergând undeva şi ne întrebăm dacă am oprit cuptorul. Dar dacă nu am fi descendenții oamenilor care, cu sute de mii de ani în urmă, au imaginat metode de a stăpâni focul, am fi în continuare o pradă.

Acesta e marele câştig al vieții omeneşti: a prospera la limita incertitudinii. Prosperăm la granița dintre şansă şi primejdie, şi trăim ştiind că nu putem avea totul sub control sau împiedica lucruri rele să se întâmple din când în când.

Celelalte animale au evoluat pentru a fi în sincronism cu mediile lor. Pentru ele, surpriza e aproape întotdeauna o veste rea, fiindcă semnalează o schimbare a mediului care le expune unui pericol pentru care nu sunt adaptate. Într-un anumit moment al

evoluției noastre, strămoşii noştri au dezvoltat organul imaginației, care ne permite să ne adaptăm unor medii noi. Imaginația ne-a permis să transformăm schimbarea şi surpriza în ocazii de a ne extinde domeniul asupra întregii planete.

Cu vreo 12.000 de ani în urmă, ne-am adaptat mediile la noi înşine, devenind agricultori în loc de vânători-culegători oportunişti. De atunci, urmele paşilor noştri s-au extins până într-acolo încât exploatarea sistemelor naturale ale Pământului amenință să ne facă mult rău. Deoarece imaginația e jocul nostru, şi ea ne-a adus aici, numai imaginația poate să ofere noile idei cu care să depăşim în siguranță surprizele ce vor veni.

Aceeaşi imaginație care a fost motorul adaptării noastre a dus la aspectul esențialmente tragic al vieții umane, anume că ne putem imagina propria noastră moarte inevitabilă. Voind, tânjind să supraviețuim cât mai mult timp posibil, încercăm să amânăm inevitabilul, şi fiindcă suntem oameni întrecem măsura, şi nu doar cu puțin. Un rezultat este înflorirea civilizațiilor, a ştiinței, a artelor, minunatele tehnologii pe care le considerăm aproape de la sine înțelese. Un altul sunt toate deşeurile pe care le produc exagerările noastre, fiindcă cea mai

sigură protecție împotriva declinului exponențial e creşterea exponențială. În felul acesta o specie care a evoluat pentru a umple o nişă relativ îngustă şi rară a cucerit întreaga suprafață a planetei. Rudele noastre cele mai apropiate sunt specii în pericol de dispariție care mai trăiesc în câteva păduri din Africa, pe când noi suntem miliarde. Speciația care ne-a despărțit de celelalte primate este adesea pusă pe seama „culturii“, dar acesta nu este doar un alt cuvânt pentru permanenta noastră concepere şi căutare a unor moduri de viață mai bune?

Ne putem închipui ființe care nu pretind mult, care iau doar minimumul necesar din mediile şi societățile lor, care trăiesc în mod instinctiv în echilibru cu lumea lor. Unii dintre noi doresc să devină astfel, şi a duce o viață mai simplă este într-adevăr un sfat bun, dar la modul general nu aceasta este firea omului. Ne stă în fire să aspirăm întotdeauna la mai mult şi la altceva decât avem. A fi om înseamnă să-ți imaginezi ceea ce nu este, să cauți dincolo de limite, să testezi constrângerile, să explorezi, să te năpusteşti şi să te rostogoleşti peste granițele intimidante ale lumii pe care o cunoaştem.

Există o idee romantică potrivit căreia depăşirea limitelor şi traiul în dezechilibru cu

mediul sunt o patologie a capitalismului şi a societății tehnologice moderne. Dar nu-i deloc aşa. Când am cucerit America de Nord în Epoca de Piatră, ne-am revărsat peste continent nimicind în drumul nostru majoritatea mamiferelor mari. Proporția vânătorilor-culegători care au murit în războaie tribale a fost mult mai mare decât proporția europenilor masacrați în cele două războaie mondiale din secolul XX.

Ca specie, se pare că suntem la apogeul dominației noastre asupra ecosistemelor şi a resurselor planetei. Ştim cu toții că situația actuală e nesustenabilă. Nesustenabilitatea era inevitabilă; ea este întotdeauna rezultatul creşterii exponențiale. Avem şansa să trăim în perioada apogeului, dar şi a crizei care va urma dacă nu învățăm rapid să acționăm mai înțelept decât în trecut. Dacă vom continua să gândim în afara timpului, nu vom depăşi problemele fără precedent ridicate de schimbarea climei. Nu ne putem baza pe lista standard a soluțiilor politice, fiindcă acele probleme sunt definite de eşecul actualelor noastre sisteme politice. Doar gândind în timp avem şansa să prosperăm vreme de secole de acum înainte.

A existat cineva care pentru prima oară a avut curajul să stăpânească focul, punându-şi

astfel copiii în siguranță. Cine va avea curajul să înțeleagă că siguranța copiilor noştri poate depinde de capacitatea noastră de a învăța să controlăm clima?

*

Să ne închipuim că ne aflăm în anul 2080 şi că problemele puse de schimbarea climei au fost abordate şi ameliorate. Copiii noştri vor fi vârstnici – sau poate, datorită progreselor medicale, încă în floarea vârstei. Cum se va fi schimbat modul lor de a gândi ca urmare a evitării catastrofei?

E mai uşor de imaginat care va fi perspectiva lor dacă nu facem nimic pentru a aduce sub control emisiile de dioxid de carbon. Confruntați cu creşterea temperaturii şi a nivelului mării, cu seceta şi distrugerea recoltelor, în timp ce oraşele din nord se aglomerează cu refugiați, vă puteți lesne închipui ce vor dori ei să ne spună.

Dar să presupunem că am găsit înțelepciunea pentru a evita toate acestea. Ce vom fi învățat pe drumul care a făcut posibil succesul? Şi ce lucruri pozitive (şi nu doar evitarea dezastrului) va fi dobândit societatea prin rezolvarea crizei? Literatura despre schimbarea climei este formulată de regulă la modul negativ. Citim iar şi iar despre

consecințele teribile ale inacțiunii, dar nicăieri nu găsim o discuție despre beneficiile subsidiare care decurg din rezolvarea problemei. Oamenii care sunt activi fizic şi se alimentează corect vor găsi efecte pozitive în a fi sănătoşi dincolo de evitarea bolii şi a morții timpurii. Viața într-o economie care susține o planetă sănătoasă ar putea oferi beneficii pozitive asemănătoare?

Consecințele depăşirii crizei climatice sunt greu de prevăzut, deoarece reuşita presupune mai mult decât rezolvarea unei probleme de inginerie globală. Chiar şi printre aceia care recunosc gravitatea crizei aderența la unul sau altul din două puncte de vedere opuse, ambele false, întârzie progresul real. Pentru cei care văd lumea în termeni economici, natura este o resursă ce trebuie exploatată şi depăşită – iar schimbarea climei e doar o problemă agricolă la o scară mai mare, ce trebuie gestionată printr-o analiză costuri-beneficii. Pentru activiştii de mediu, natura este supremă şi imaculată, iar expansiunea civilizației nu poate decât s-o diminueze; pentru ei, schimbarea climei este doar una dintre problemele de conservare. Ambele viziuni omit esențialul, fiindcă ambele presupun că natura şi tehnologia sunt

categorii care se exclud reciproc, aşa încât, dacă intră în conflict, trebuie făcută o alegere între ele. Dar o soluție adecvată a crizei necesită estomparea distincției dintre natural şi artificial. Ea nu presupune o alegere între natură şi tehnologie, ci reorientarea relației dintre ele.

Consensul ştiințific copleşitor ne spune că acum noi suntem cei care destabilizează clima, dar adevărul este că şi în trecut clima a fluctuat brusc între stări foarte diferite. Dacă acest lucru se întâmplă din nou – indiferent dacă e declanşat de acțiunile noastre sau nu – consecințele pentru noi vor fi teribile. Fiindcă suntem capabili să preîntâmpinăm sau să moderăm schimbări majore ale climei, trebuie s-o facem – din acelaşi motiv pentru care trebuie să ținem sub observație şi să distrugem asteroizii care s-ar putea ciocni cu Pământul. După rezolvarea acestei urgențe, vom fi angajați într-o permanentă reglare a climei, pentru a o menține în limite în care omenirea poate să prospere. Asta înseamnă să ne armonizăm tehnologiile cu ciclurile şi sistemele naturale care deja reglează clima.

Când vom înțelege modul cum sistemele naturale care reglează clima reacționează la tehnologiile noastre, şi vom începe să

administrăm tehnologiile şi economiile noastre aşa încât să funcționeze în armonie cu clima, vom depăşi sciziunea dintre natural şi artificial la scară planetară. Economia şi clima vor fi aspecte ale unui singur sistem. Pentru a supraviețui crizei climatice, trebuie să concepem şi să punem în aplicare un nou tip de sistem, o simbioză între procesele naturale care determină clima şi civilizația noastră tehnologică.

Suntem deprinşi să considerăm că suntem separați de natură şi că ne impunem tehnologiile asupra lumii naturale. Dar indiferent dacă fabulăm despre cucerirea naturii sau despre natura care ne va supraviețui, am atins limitele utilității ideii că suntem rupți de natură. Dacă vrem să supraviețuim ca specie, trebuie să ne percepem într-un mod nou, în care noi şi tot ce creăm şi înfăptuim să fie la fel de natural ca ciclurile carbonului şi oxigenului din care am apărut şi la care participăm cu fiecare respirație.

Pentru a porni pe această cale, trebuie să înțelegem rădăcinile distincției dintre artificial şi natural. Ele sunt în strânsă legătură cu *timpul*. Ideea falsă la care trebuie

să renunțăm este că lucrurile dependente de timp sunt o iluzie, pe când atemporalul este real.

Primele expresii ale acestei filozofii perene se găsesc în interpretările creştine ale cosmologiei aristotelice şi ptolemaice, în care, aşa cum am arătat în capitolul 1, sfera terestră este unicul lăcaş al vieții, dar şi al morții şi descompunerii, înconjurat de sfere cristaline perfecte şi imuabile care se rotesc veşnic în jurul Pământului, purtând Luna, Soarele şi planetele. Stelele sunt fixate de sfera cea mai îndepărtată, deasupra căreia sălăşluiesc Dumnezeu şi cu îngerii lui. Din acest scenariu decurge ideea predominantă că binele şi adevărul se află deasupra noastră, iar răul şi falsitatea dedesubt. Pentru a învăța să conviețuim cu planeta noastră, trebuie să ne debarasăm de vestigiile acestei vechi năzuințe de a ne ridica mai presus decât ea.

Aceeaşi ierarhie se aplică distincției natural/artificial, deşi oameni diferiți o văd în mod diferit. Unii prețuiesc lumea artificială mai mult decât pe cea naturală a ființelor vii, deoarece – fiind produsul minții, iar nu al unei evoluții indiferente, haotice – este mai aproape de perfecțiunea absolută, şi deci de

atemporalitate. Alții consideră că naturalul are o puritate care lipseşte construcțiilor artificiale.

Cum ne putem debarasa de structura conceptuală a unei lumi divizate şi ierarhice care separă naturalul de artificial? Pentru a scăpa din această capcană conceptuală, trebuie să eliminăm ideea că ceva este, sau poate fi, atemporal. Trebuie să considerăm că totul în natură, inclusiv noi înşine şi tehnologiile noastre, e dependent de timp şi face parte dintr-un sistem mai vast, în permanentă evoluție. O lume fără timp este o lume cu un set fix de posibilități ce nu pot fi depăşite. Pe de altă parte, dacă timpul este real şi totul i se supune, atunci nu există nici un set fix de posibilități şi nici un obstacol în calea inventării unor idei şi soluții cu adevărat noi ale problemelor. Aşadar, pentru a depăşi distincția dintre natural şi artificial şi a crea sisteme care să fie deopotrivă naturale şi artificiale, trebuie să ne situăm noi înşine în timp.

Avem nevoie de o nouă filozofie, care să anticipeze contopirea naturalului cu artificialul prin realizarea unei convergențe între ştiințele naturale şi sociale, şi în care agentul uman are un loc legitim în natură. Asta nu înseamnă relativism, în care tot ce

vrem noi să fie adevărat poate fi. Pentru a supraviețui pericolului schimbării climei, contează foarte mult ce este adevărat. Trebuie de asemenea să respingem atât ideea modernistă că adevărul şi frumusețea sunt determinate de criterii formale, cât şi rebeliunea postmodernă față de aceasta, conform căreia realitatea şi etica sunt doar constructe sociale. E nevoie de relaționism, conform căruia viitorul e restricționat, dar nu complet determinat de prezent, astfel încât noutatea şi invenția sunt posibile. Aceasta va înlocui falsa speranță a transcenderii către o perfecțiune absolută, eternă, cu o viziune autentic încurajatoare a unui domeniu în permanentă expansiune pentru activitatea umană, într-un cosmos cu un viitor deschis.

O parte a programului noii filozofii e să salveze cosmologia de o deviere neştiințifică prin recunoaşterea rolului central pe care îl joacă timpul la scară cosmologică. Acea sarcină ştiințifică a fost subiectul cărții de față. Dar, la fel de important, o civilizație ai cărei oameni de ştiință şi filozofi susțin că timpul e o iluzie şi că viitorul e fixat, este improbabil să poată căpăta puterea imaginativă de a crea comuniunea între organizațiile politice, tehnologie şi procesele

naturale – o comuniune esențială dacă vrem să prosperăm într-un mod sustenabil dincolo de secolul acesta.

*

Concepția metafizică potrivit căreia realitatea e atemporală a săvârşit pesemne răul cel mai mare influențând economia.[1] Principala eroare în gândirea multor economişti este că piața reprezintă un sistem cu o singură stare de echilibru. Aceasta e o stare în care prețurile s-au ajustat aşa încât oferta pentru fiecare marfă corespunde exact cererii pentru ea, în acord cu legea cererii şi a ofertei. Mai mult, o asemenea stare se spune că optimizează satisfacția tuturor. Există chiar şi o teoremă matematică ce susține că la echilibru nimeni nu poate deveni mai fericit fără a face pe altcineva mai puțin fericit.[2]

Dacă fiecare piață are un asemenea punct de echilibru, şi numai unul, atunci e înțelept şi etic s-o lăsăm să evolueze de la sine pentru a se stabiliza în acel punct. Forțele pieței (adică felul în care producătorii şi consumatorii reacționează la modificările prețurilor) trebuie să fie de ajuns pentru a face asta. O versiune recentă a acestei idei este *ipoteza pieței eficiente* [*efficient-market hypothesis*], care susține că prețurile reflectă

toate informațiile relevante pentru piață. Într-o piață cu mulți jucători care contribuie cu cunoştințele şi concepțiile lor prin intermediul ofertelor şi al cererilor, este imposibil ca un bun să fie greşit prețuit multă vreme. În mod remarcabil, această linie de raționament e susținută de modele matematice elegante în care se poate demonstra formal că întotdeauna există puncte de echilibru; altfel spus, întotdeauna prețurile pot fi alese aşa încât oferta să corespundă exact cererii.

Această imagine simplă, în care piața acționează întotdeauna pentru a restabili condițiile de echilibru, depinde de presupunerea că există un singur echilibru. Dar nu e cazul. Economiştii ştiu încă din anii 1970 că modelele lor matematice ale piețelor au de regulă multe puncte de echilibru în care oferta corespunde exact cererii. Cât de multe? Numărul e greu de estimat, dar cu siguranță creşte cel puțin proporțional cu numărul companiilor şi al consumatorilor, dacă nu mai rapid. Într-o economie modernă complexă, cu multe bunuri produse de multe firme şi cumpărate de mulți consumatori, sunt numeroase moduri de a stabili prețurile bunurilor aşa încât oferta şi cererea să fie în echilibru.[3]

Deoarece există multe puncte de echilibru în care forțele pieței se compensează, nu toate pot fi complet stabile. Se pune atunci întrebarea cum alege o societate în care echilibru să se situeze. Alegerea nu poate fi explicată exclusiv prin forțele pieței, fiindcă oferta şi cererea se compensează în fiecare dintre numeroasele echilibre posibile. Reglementările, legile, cultura, etica şi politica joacă atunci un rol necesar în determinarea evoluției unei economii de piață.

Cum e posibil ca economişti influenți să fi argumentat timp de decenii pornind de la premisa unui unic echilibru, când rezultate publicate în literatura lor de specialitate de către colegi proeminenți au demonstrat că acest lucru e incorect? Eu cred că motivul este preferința pentru atemporal în detrimentul a ceea ce depinde de timp. Căci dacă există un singur echilibru stabil, dinamica prin care piața evoluează în timp nu prezintă mare interes. Indiferent ce se întâmplă, piața va găsi starea de echilibru, iar dacă e perturbată, ea va oscila în jurul acelui echilibru şi se va restabili în el. Nu e nevoie să ştii nimic altceva.

Dacă există un unic echilibru stabil, activitatea umană nu are multă libertate de

acțiune (exceptând maximizarea profiturilor fiecărei firme şi a satisfacției fiecărui cumpărător), iar cel mai bun lucru de făcut e să lăsăm piața să ajungă singură la acel echilibru. Dar dacă sunt multe echilibre posibile, şi nici unul nu e complet stabil, atunci acțiunea umană trebuie să intervină şi să dirijeze dinamica prin care e ales un echilibru din multe posibilități. În gândirea mentorilor economici care au înclinat balanța în favoarea liberalizării pieței, rolul factorului uman a fost neglijat din cauza respectului deosebit față de o imaginară stare mitică atemporală a naturii. Aceasta a fost greşeala conceptuală profundă care a deschis calea erorilor politice care au dus la recenta criză şi recesiune economică.

Despre această greşeală se poate vorbi şi în termenii dependenței şi independenței de drum. Un sistem este *dependent* de drum dacă contează felul în care a evoluat de la o configurație la alta – altfel spus, condițiile noastre actuale depind nu doar de unde ne aflăm, ci şi de felul cum am ajuns aici. Un sistem este *independent* de drum dacă totul depinde numai de configurația sa actuală, şi nimic nu depinde de felul cum a ajuns aici. Într-un sistem independent de drum, timpul şi dinamica joacă un rol minor, pentru că în

orice moment sistemul fie se află în starea sa unică de echilibru stabil, fie fluctuează uşor în jurul acesteia. Într-un sistem dependent de drum, timpul joacă un rol important.

Doctrinele economice neoclasice consideră economia independentă de drum. O piață eficientă este independentă de drum, la fel şi o piață cu o singură stare de echilibru stabil. Într-un sistem independent de drum, nu ar trebui să poți face bani doar pe cale mercantilă, fără să produci nimic de valoare. Genul acesta de activitate se numeşte arbitraj, iar teoria financiară fundamentală afirmă că într-o piață eficientă arbitrajul este imposibil, fiindcă totul are deja un preț, aşa încât nu există incoerențe. Nu poți schimba dolari pe yeni, aceştia pe euro, iar euro înapoi pe dolari, şi să faci profit. Totuşi, fonduri speculative şi bănci de investiții au făcut averi din tranzacții pe piețele valutare. Succesul lor ar trebui să fie imposibil într-o piață eficientă, dar asta nu pare să-i fi deranjat pe teoreticienii economici.

Cu decenii în urmă, economistul Brian Arthur, pe atunci cel mai tânăr titular al unei catedre la Universitatea Stanford, a început să argumenteze că economia este dependentă de drum.[4] Dovada sa în acest sens era că dictonul economic cunoscut ca *legea*

descreşterii beneficiilor nu este întotdeauna corect. Potrivit acestei legi, cu cât produci mai mult din ceva, cu atât profitul din vânzarea fiecărui articol în parte va fi mai mic. Aceasta nu este neapărat adevărat, de exemplu, în afacerea cu programe de calculator, unde nu costă aproape nimic să faci şi să distribui copii suplimentare ale unui program, astfel încât totul e plătit de la început. Lucrarea lui Arthur a fost considerată o erezie – şi, într-adevăr, fără ipoteza descreşterii beneficiilor, unele demonstrații matematice din modelele economice neoclasice nu mai sunt valabile.

La jumătatea anilor 1990, Pia Malaney, doctorandă în economie la Harvard, şi matematicianul Eric Weinstein au descoperit o reprezentare matematică a dependenței de drum a economiei. În geometrie şi fizică, pentru studiul sistemelor dependente de drum se foloseşte metoda *câmpurilor de etalonare*, care oferă bazele matematice necesare pentru a înțelege toate forțele din natură. Malaney şi Weinstein au aplicat această metodă în economie şi au constatat că ea e dependentă de drum. Într-adevăr, există o mărime uşor de calculat numită *curbură* care măsoară dependența de drum, iar ei au găsit că aceasta nu e zero în

modelele tipice de piețe în care prețurile şi preferințele consumatorilor se schimbă. Prin urmare, la fel ca Pământul şi ca geometria spațiului-timp, spațiile matematice care modelează piețele sunt curbate. În teza ei de doctorat, Malaney a aplicat modelul lor la creşterile din Indicele Prețurilor de Consum[20] [*Consumer Price Index*] şi a constatat că ele fuseseră greşit calculate de economiştii care nu au ținut seama de dependența de drum în modelele lor economice.[5]

Lucrarea lui Malaney şi Weinstein a fost ignorată de economiştii academici, dar dependența de drum a piețelor a fost de atunci redescoperită de câțiva fizicieni care au considerat firesc să le aplice teorii de etalonare.[6] E imposibil de ştiut câte fonduri speculative câştigă bani descoperind prilejuri de arbitraj prin măsurarea curburii – adică a unei dependențe de drum care n-ar trebui să existe în economia neoclasică –, dar fără îndoială că acest lucru se întâmplă.

Într-o piață dependentă de drum timpul contează cu adevărat. Cum explică teoria economică neoclasică faptul că în realitate piețele evoluează în timp, ca răspuns la schimbarea tehnologiilor şi a preferințelor, creând în permanență prilejuri de a face bani care n-ar trebui să existe în modelele lor?

Economia neoclasică tratează timpul făcând abstracție de el. Într-un model neoclasic, tu în calitate de consumator eşti modelat de o funcție de utilitate. Aceasta e o funcție matematică ce atribuie un număr fiecărei combinații posibile de bunuri şi servicii care ar putea fi achiziționate în economia în care trăieşti. Este o mulțime enormă, dar asta este matematica, aşa încât să continuăm. Ideea este că, cu cât un set de bunuri şi servicii îți e mai util, cu atât mai multe vei vrea să cumperi. Modelele presupun atunci că vei cumpăra setul de bunuri şi servicii care îți maximizează dorințele, aşa cum sunt ele măsurate de funcția ta de utilitate, cu restricția impusă de cât îți poți permite.

Cum rămâne cu timpul? Ideea este că lista de bunuri şi servicii include toate bunurile şi serviciile pe care ai vrea să le cumperi în decursul întregii tale vieți. Prin urmare, restricția bugetară impusă se referă la venitul pe întreaga viață – ceea ce este, evident, absurd; cum ar putea oamenii să ştie ce vor vrea ori de ce vor avea nevoie peste decenii, sau care va fi venitul lor pe întreaga viață? Modelele tratează asemenea contingențe – faptul că de-a lungul vieții un om se confruntă cu nenumărate situații imprevizibile, introducându-le de-a valma în

lista de bunuri şi servicii. Adică, ele presupun că există un preț definit pentru fiecare ansamblu posibil de bunuri şi servicii oricând şi în orice situație ar putea să apară, chiar şi decenii mai târziu. Există un preț, de pildă, nu doar pentru un Ford Mustang, dar şi pentru un Ford Mustang în 2030, în orice eventualitate posibilă. Modelele presupun nu doar că toate bunurile şi serviciile pe care le-am putea cumpăra acum sunt perfect evaluate la echilibru, dar şi că orice viitor preț al oricărui ansamblu de bunuri şi servicii în orice situație posibilă este de asemenea perfect evaluat. Mai mult, ele presupun că există atât de mulți investitori, cu o asemenea diversitate de perspective, încât mizele acoperă întregul spațiu al situațiilor şi pozițiilor posibile – în vreme ce studii ale piețelor reale au arătat că un număr mic de poziții sunt ocupate de majoritatea comercianților.[7]

Faptul că modelele economice neoclasice depun asemenea eforturi absurde pentru a elimina timpul şi contingentul arată doar cât de importantă e problema timpului. Există o atracție puternică, deşi nerecunoscută, către teorii în care timpul nu joacă nici un rol – poate fiindcă acestea le dau teoreticienilor

sentimentul că trăiesc pe un tărâm etern al adevărului pur, în fața căruia timpul şi contingența lumii reale pălesc.

Trăim într-o lume în care e imposibil să anticipezi majoritatea contingențelor ce vor apărea. Nici contextul politic, nici invențiile, nici moda, nici vremea, nici clima nu pot fi determinate cu precizie dinainte. În lumea reală nu poți lucra cu un spațiu abstract al tuturor contingențelor ce ar putea să evolueze. Pentru a studia cu adevărat economia, fără elemente mitologice, avem nevoie de un cadru teoretic în care timpul să fie real, iar viitorul să nu poată fi determinat dinainte, nici măcar în principiu. Numai într-un asemenea context teoretic are sens să ne făurim viitorul.

Mai mult, pentru a contopi economia şi ecologia, trebuie să le concepem în termeni comuni – ca sisteme complexe deschise care evoluează în timp, cu dependență de drum şi multe stări de echilibru, guvernate de feedback. Aceasta corespunde descrierii succinte a economiei pe care am făcut-o aici, precum şi cadrului teoretic al ecologiei, clima fiind suma şi expresia unei rețele de reacții chimice care acționează şi sunt reglate de ciclurile de bază ale biosferei.[8]

*

Una dintre dificultățile cu care ne confruntăm atunci când încercăm să purtăm o conversație constructivă despre viitor este incoerența ce caracterizează cultura noastră din prezent. Oamenii aflați la una dintre granițele cunoaşterii practic nu ştiu despre ce vorbesc cercetătorii aflați la celelalte granițe. Conversațiile noastre sunt compartimentate. Majoritatea fizicienilor nu ştiu mare lucru despre progresele din biologie, necum despre ce se întâmplă în prima linie a teoriei sociale, şi n-au habar ce întrebări îşi pun unii altora artişti influenți.

Pentru ca civilizația noastră să prospere, ar fi util să ne bazăm în luarea deciziilor pe o viziune coerentă asupra lumii în care, ca punct de pornire, să existe o convergență între ştiințele naturii şi ştiințele sociale. Realitatea timpului poate fi baza pentru această nouă convergență, în care viitorul e deschis, iar noutatea e posibilă la toate scările, de la legile fundamentale ale fizicii la organizarea economiei şi la ecologie.

În trecut, mari progrese conceptuale în fizică au avut ecou în ştiințele sociale. Ideea lui Newton de timp şi spațiu absolut se spune că a influențat în mare măsură teoria politică

a contemporanului său John Locke. Ideea că pozițiile particulelor sunt definite nu una în raport cu alta, ci în raport cu spațiul absolut s-a oglindit în ideea drepturilor definite pentru fiecare cetățean în raport cu fundalul absolut şi imuabil al principiilor justiției.

Relativitatea generală a transformat fizica într-o teorie relațională a spațiului şi a timpului, în care toate proprietățile sunt definite în termeni de relații. Se oglindeşte aceasta într-o mişcare analoagă în ştiințele sociale? Eu cred că da şi că ea poate fi găsită în scrierile lui Unger şi ale altor teoreticieni sociali. Acestea explorează, în contextul teoriei sociale, implicațiile unei filozofii relaționale potrivit căreia toate proprietățile atribuite agenților într-un sistem social rezultă din relațiile şi interacțiunile lor reciproce. La fel ca într-o cosmologie leibniziană, nu există categorii sau legi atemporale externe. Viitorul e deschis, fiindcă nu există nici o limită pentru noile moduri de organizare pe care le poate inventa o societate în permanenta ei confruntare cu probleme şi oportunități fără precedent.

Această nouă teorie socială încearcă să remodeleze democrația într-o formă globală de organizare politică în măsură să călăuzească evoluția societăților multietnice

şi multiculturale în dezvoltare rapidă. Această democrație reînnoită trebuie totodată să fie la înălțimea sarcinii de a lua deciziile necesare pentru a supraviețui crizelor globale generate de schimbarea climei.

Iată cum înțeleg eu că arată democrația din perspectiva relațională a noii filozofii. Fapt remarcabil, aceleaşi idei permit să se înțeleagă modul în care funcționează ştiința. E un lucru important, deoarece provocarea reprezentată de schimbarea climei impune interacțiunea dintre ştiință şi politică.

Guvernarea democratică şi activitatea comunității ştiințifice au evoluat pentru a armoniza câteva trăsături umane esențiale. Suntem inteligenți, dar avem metehne caracteristice. Putem studia raportul dintre noi şi natură în cursul unei singure vieți, şi putem acumula cunoştințe de-a lungul multor vieți. Dar putem de asemenea gândi şi acționa pripit. Asta înseamnă că adesea facem greşeli şi ne amăgim singuri. Pentru a combate înclinația noastră către eroare, am făurit societăți care pun contradicția dintre conservatori şi rebeli în slujba generațiilor viitoare. Viitorul e într-adevăr incognoscibil, dar putem fi siguri că urmaşii noştri vor şti mult mai mult decât noi. Acționând în cadrul unor comunități şi societăți putem realiza

mult mai mult decât putem ca indivizi, însă progresul necesită indivizi care să-şi asume riscul de a inventa şi testa idei noi.

Comunitățile ştiințifice şi societățile democratice mari din care au evoluat progresează fiindcă activitatea lor e guvernată de două principii fundamentale.[9]

> (1) Atunci când argumentul rațional întemeiat pe dovezi publice e suficient pentru a decide într-o problemă, trebuie considerat că aceasta e decizia.
> (2) Atunci când argumentul rațional întemeiat pe dovezi publice nu e suficient pentru a decide într-o problemă, comunitatea trebuie să încurajeze un spectru larg de puncte de vedere şi ipoteze compatibile cu o încercare onestă de a obține dovezi publice convingătoare.

Pe acestea eu le numesc *principiile viitorului deschis*. Ele stau la baza unui stadiu nou, pluralist, al Iluminismului – un stadiu în curs de apariție. Respectăm puterea raționamentului atunci când este decisivă, iar atunci când nu este, îi respectăm pe cei de bună-credință care nu sunt de acord cu noi. Oamenii de bună-credință sunt cei din cadrul comunității care acceptă aceste principii. În asemenea comunități cunoaşterea poate

progresa şi ne putem strădui să luăm decizii înțelepte în privința unui viitor care nu e complet cognoscibil.

*

Chiar şi în cazul acceptării totale a principiilor viitorului deschis, este improbabil ca ştiința să răspundă vreodată la unele întrebări care ne preocupă cel mai mult.

„De ce există ceva mai degrabă decât nimic?“ Nu-mi pot imagina nimic care să servească drept răspuns la această întrebare, necum un răspuns susținut de dovezi. Aici chiar şi religia eşuează, fiindcă dacă răspunsul este „Dumnezeu“, înseamnă că a existat ceva – adică Dumnezeu – de la care s-a pornit. Sau: „Dacă timpul nu are început, atunci toate cauzele se îndepărtează în trecutul infinit?“ Nu există o cauză finală a lucrurilor? Acestea sunt întrebări reale, dar dacă ele au răspunsuri, acestea probabil că vor rămâne pentru totdeauna în afara ştiinței. Există apoi întrebări la care ştiința nu poate răspunde acum, dar care în mod evident au sens, aşa încât e de sperat ca în viitor ştiința să dobândească limbajul, conceptele şi tehnicile experimentale pentru a le aborda.

Am arătat că tot ce este real şi adevărat e astfel într-un moment care este unul dintr-o succesiune de momente. Dar ce anume e real? Care este substanța acestor momente şi procesele care le leagă între ele?

Putem accepta că universul nu este identic sau izomorf cu un obiect matematic, şi am susținut că nu există o copie a universului, deci nu există nimic cu care universul să poată fi comparat. Şi atunci, ce este universul? Deşi nici o metaforă nu ne va lămuri, şi orice model matematic va fi incomplet, vrem totuşi să ştim în ce constă lumea. Nu „Cum arată?“, ci „Ce este?“. Care e substanța lumii? Ne gândim că materia e simplă şi inertă, dar nu ştim nimic despre ce este materia cu adevărat. Ştim doar cum interacționează. Care e esența existenței unei pietre? Nu ştim; este un mister pe care orice descoperire privitoare la atomi, nuclee, cuarci şi aşa mai departe nu face decât să-l adâncească.

Aş vrea foarte mult să cunosc răspunsul la această întrebare. Uneori mă gândesc la ce este o piatră atunci când încerc să adorm, şi mă consolez cu ideea că trebuie să existe undeva un răspuns la întrebarea ce este universul. Dar n-am nici o idee cum să-l caut, cu ajutorul ştiinței sau pe altă cale. Este

atât de uşor să născoceşti lucruri, iar rafturile bibliotecilor sunt pline cu propuneri metafizice. Dar vrem cunoaştere reală, ceea ce înseamnă că trebuie să existe o metodă de a confirma un răspuns propus. Asta ne limitează la ştiință. Dacă mai există şi un alt drum către cunoaşterea credibilă a lumii în afară de ştiință, este improbabil ca eu să-l urmez, fiindcă viața mea e centrată pe loialitatea față de etica ştiinței.

Cât priveşte ştiința însăşi, nu putem prezice viitorul (aceasta e ideea centrală a cărții de față), dar perspectiva relaționistă mă face să mă îndoiesc că ştiința ne poate spune ce este într-adevăr lumea. Aceasta deoarece relaționismul afirmă că toate mărimile pe care fizica le poate măsura şi descrie se referă la relații şi interacțiuni. Când întrebăm despre *esența* materiei, sau a lumii, întrebăm ce este ea în mod intrinsec – ce este ea în absența relațiilor şi a interacțiunilor.[10] Conform relaționismului, nu există nimic în afara proprietăților definite de relații şi interacțiuni. Uneori ideea aceasta mi se pare convingătoare; alteori o găsesc absurdă. Ea se debarasează în mod abil de întrebarea ce sunt lucrurile în realitate. Dar are sens ca

două lucruri să aibă o relație – să interacționeze – dacă ele nu sunt nimic în mod intrinsec?

S-ar putea ca existența să se reducă la relații. Dar dacă aşa stau lucrurile, există ceva ce încă nu ştim despre cum poate sau trebuie să fie asta?

Acestea sunt întrebări prea profunde pentru mine. Cineva cu o altă pregătire şi un alt temperament poate că ar reuşi să înainteze către un răspuns, dar eu nu. Ceea ce însă nu pot face e să resping întrebarea ce este lumea în realitate socotind-o absurdă. Unii susținători ai ştiinței insistă că întrebările la care ştiința nu poate răspunde n-au sens, dar eu găsesc asta neconvingător – şi dovada unei viziuni înguste, neatrăgătoare. Îndeletnicirea cu ştiința m-a dus la concluzia că viitorul e deschis, iar noutatea e reală. Odată ce eu definesc ştiința prin adeziunea la o etică mai degrabă decât la o metodă, trebuie să accept posibilitatea unor metodologii ştiințifice pe care nimeni nu le-a conceput încă.

Ajungem astfel la problema *cu adevărat* dificilă: problema conştiinței. Primesc o mulțime de e-mailuri despre conştiință. Celor mai multe le răspund că deşi există mistere

reale în privința conştiinței, ştiința nu le poate aborda cu cunoştințele actuale. Ca fizician, nu am nimic de spus în privința lor.

Există o singură persoană cu care sunt dispus să discut despre problema conştiinței – un prieten drag pe nume James George. Jim este un diplomat pensionar care a fost înalt comisar[21] al Canadei în India şi Sri Lanka şi ambasador în Nepal, Iran şi statele din Golf, între alte țări. Mi s-a spus că este legendar ca exponent al diplomației canadiene în epoca prim-miniştrilor Pearson[22] şi Trudeau[23], când Canada a răspândit ideea menținerii păcii în lume. Trecut acum de nouăzeci de ani, el scrie cărți despre bazele spirituale ale problemelor de mediu şi ajută la administrarea unei fundații dedicate protecției mediului.[11] Este foarte admirat de largul său cerc de prieteni şi cunoştințe pentru sfaturile sale înțelepte – şi este unul dintre puținii oameni pe care-i cunosc ce pare a fi călăuzit în viață de o înțelepciune la care eu nu-mi imaginez că aş putea ajunge.

De aceea atunci când Jim îmi zice „Ce-mi spui tu despre semnificația timpului în fizică e fascinant, dar omiți elementul esențial către

care conduce întreaga ta gândire, anume rolul conştiinței în univers“, eu ascult. Ascult, însă nu am mare lucru de zis.

Dar cel puțin ştiu cu aproximație despre ce vorbeşte. Vreau să lămuresc ce înțeleg eu prin problema conştiinței. Nu mă refer la întrebarea dacă am putea programa un calculator ca să-şi cunoască propria stare sau să reflecteze asupra ei. Nici la întrebarea cum evoluează sistemele din rețele de reacții chimice pentru a deveni agenți autonomi, termen folosit de Stuart Kauffman pentru a desemna sistemele ce pot lua decizii în propriul lor folos. Acestea sunt probleme dificile, dar ele par să fie probleme ştiințifice rezolvabile.

Prin *problema conştiinței* înțeleg că dacă descriu pe cineva folosind tot limbajul pe care ştiințele fizicii şi biologiei ni-l pun la dispoziție, omit ceva. Creierul e o rețea vastă şi puternic interconectată de aproximativ 100 de miliarde de celule, fiecare fiind ea însăşi un sistem complex funcționând pe baza unor lanțuri controlate de reacții chimice. Oricât de amănunțit aş descrie toate acestea, niciodată nu m-aş apropia măcar de o explicație a faptului că persoana aceea are o experiență interioară, un flux al conştiinței. Dacă nu aş şti din propria mea experiență că

sunt conştient, cunoaşterea proceselor sale neurale nu mi-ar oferi nici un motiv să bănuiesc că ea este conştientă.

Cel mai mare mister, desigur, nu e conținutul conştiinței noastre, ci *faptul* că suntem conştienți. Leibniz şi-a imaginat că se micşorează şi se plimbă prin creierul cuiva la fel cum s-ar plimba printr-o moară (în zilele noastre am spune „o fabrică“). În cazul morii, i-am putea face o descriere completă, prezentând ce ar vedea o persoană care s-ar plimba în interiorul ei. În cazul creierului, nu am putea.

Un mod de a spune că ceva este omis din descrierea fizică a funcționării creierului este să menționăm câteva întrebări la care descrierea fizică nu răspunde. Tu şi cu mine ne uităm la femeia în rochie roşie care stă la masa de alături. Oare amândoi avem aceeaşi senzație (de roşu, vreau să spun)? S-ar putea ca ceea ce tu percepi ca roşu să fie senzația pe care eu o percep ca albastru? Cum ne-am putea da seama?

Să presupunem că vederea ni se extinde în ultraviolet. Cum ar arăta noile culori? Ce senzație ne-ar crea?

Ceea ce lipseşte atunci când descriem o culoare ca o lungime de undă a luminii, sau ca activarea unor neuroni din creier, este

esența experienței de a percepe roşul. Filozofii au un termen pentru aceste esențe: *qualia*. Întrebarea este de ce percepem qualia de roşu atunci când ochii noştri absorb fotoni cu o anumită lungime de undă? Este ceea ce filozoful David Chalmers numeşte *problema dificilă a conştiinței* [*the hard question of consciousness*].

Iată un alt mod de a o formula: să presupunem că am cartografiat circuitele neuronale ale creierului tău pe un cip de siliciu şi am încărcat creierul tău pe un calculator. Ar fi conştient acel calculator? Ar avea qualia? Să presupunem că ai putea s-o faci fără să te răneşti. Ar exista atunci două ființe conştiente având amintirile tale şi al căror viitor ar diverge din acel moment?

Problema pusă de qualia, sau de conştiință, pare insolubilă prin metodele ştiinței, fiindcă e un aspect al lumii care nu e inclus atunci când descriem toate interacțiunile fizice dintre particule. Ea ține de domeniul întrebărilor privind ce e lumea în realitate, nu cum poate fi reprezentată.

Unii filozofi susțin că pur şi simplu qualia sunt identice cu anumite procese neuronale. Asta mi se pare greşit. Qualia se prea poate să fie corelate cu procese neuronale, dar nu coincid cu ele. Procesele neurale pot fi

descrise cu ajutorul fizicii şi chimiei, dar nici o descriere, oricât de detaliată, în termenii acestora nu va răspunde la întrebarea cum sunt qualia şi nu va explica de ce le percepem.

Nu mă îndoiesc că am putea învăța o mulțime de lucruri despre relația dintre qualia şi creier care ne-ar apropia de formularea problemelor conştiinței şi ale qualia ca probleme ştiințifice. Putem face experimente asupra unor subiecți conştienți din care să învățăm ce anume trăsături sau aspecte ale proceselor neuronale sunt asociate cu qualia. Acestea sunt probleme ştiințifice, abordabile prin metodologiile ştiinței.

Întrebările privind qualia fac din conştiință un mister autentic, care până acum nu a fost lămurit prin metodele ştiinței. Nu ştiu dacă va fi vreodată. Poate că atunci când vom şti mult mai multe despre biologie şi creier se va produce o transformare revoluționară în limbajul pe care-l folosim pentru a descrie animalele vii şi gânditoare. După acea revoluție, vom dispune de concepte şi de un limbaj inimaginabile în prezent, care ne vor permite să formulăm misterele conştiinței şi ale qualia ca probleme ştiințifice.

Problema conştiinței e un aspect al întrebării ce este lumea în realitate. Nu ştim ce este în realitate o piatră, un atom sau un electron. Putem doar să observăm cum interacționează ele cu alte lucruri, iar în felul acesta să descriem proprietățile lor relaționale. Poate că orice lucru are aspecte externe şi interne. Proprietățile externe sunt acelea pe care ştiința le poate capta şi descrie – prin interacțiuni, în termeni de relații. Aspectul intern este esența intrinsecă; este realitatea ce nu poate fi exprimată în limbajul interacțiunilor şi al relațiilor. Conştiința, indiferent ce este ea, este un aspect al esenței intrinseci a creierului.

Un alt aspect al conştiinței este că se desfăşoară în timp. Într-adevăr, atunci când afirm că întotdeauna este un anumit moment de timp în lume, extrapolez pornind de la faptul că experiențele mele asupra lumii se desfăşoară întotdeauna în timp. Dar ce înțeleg prin experiențele mele? Pot vorbi despre ele la modul ştiințific ca exemple de înregistrări ale unor informații. Pentru a vorbi astfel, nu am nevoie să menționez conştiința sau qualia. Dar asta poate fi o eschivare, fiindcă acele experiențe au aspecte care sunt conştiință sau qualia. De aceea

convingerea mea că ceea ce e real este real în momentul prezent se leagă de convingerea mea că qualia sunt reale.

---

20. Indicele Prețurilor de Consum măsoară schimbările de preț ale coşului mediu de bunuri şi servicii achiziționate de o familie (n. tr.).

21. *High commissioner*, reprezentant al guvernului unei țări din Commonwealth într-o altă țară din Commonwealth (n. tr.).

22. Lester Bowles Pearson (1897–1972), prim-ministru al Canadei între anii 1963 şi 1968, s-a remarcat ca mediator în disputele internaționale. A primit Premiul Nobel pentru Pace în 1957 (n. tr.).

23. Pierre Elliott Trudeau (1919–2000), politician liberal, prim-ministru al Canadei între anii 1968–1979 şi 1980–1984 (n. tr.).

*

Ştiința este una dintre marile aventuri umane. Progresul cunoaşterii este esența oricărei relatări a istoriei umane, iar pentru cei destul de norocoşi să participe la ea, chintesența vieții noastre. Deşi viitorul e imprevizibil – altminteri nu ar exista cercetare –, singura certitudine este că în viitor vom şti mai multe. Căci la fiecare dimensiune, de la starea cuantică a unui atom până la cosmos, şi la orice nivel de complexitate, de la un foton creat în universul timpuriu şi care zboară către noi până la personalitățile şi societățile umane, cheia este timpul, iar viitorul este deschis.

Note

PREFAȚĂ

1. Cartea aceasta poate fi considerată o introducere la o lucrare de filozofie naturală riguros argumentată, sau o popularizare a ei, la care colaborez cu Roberto Mangabeira Unger – din care va rezulta o carte intitulată provizoriu *The Singular Universe and the Reality of Time*, în care susținem realitatea timpului şi evoluția legilor, şi examinăm posibile soluții la ceea ce noi am numit *dilema meta-legilor* (vezi capitolul 19).
2. Versiuni anterioare ale argumentelor prezentate aici pot fi găsite în următoarele articole, precum şi în lucrările de cercetare enumerate în notele de mai jos:
   Lee Smolin, „A Perspective on the Landscape Problem“, arXiv:1202. 3373v1 [physics.hist-ph] (2012);
   —, „The Unique Universe“, *Phys. World*, 2 iunie, 21-26 (2009);
   —, „The Case for Background Independence“, în *The Structural*

Foundations of Quantum Gravity, ed. Dean Rickles *et al.* (New York: Oxford University Press, 2007);
—, „The Present Moment in Quantum Cosmology: Challenges for the Argument for the Elimination of Time“, în *Time and the Instant*, ed. Robin Durie (Manchester, U.K.: Clinamen Press, 2000);
—, „Thinking in Time Versus Thinking Outside of Time“, în *This Will Make You Smarter*, ed. John Brockman (New York: Harper Perennial, 2012);
Stuart Kauffman şi Lee Smolin, „A Possible Solution to the Problem of Time in Quantum Cosmology“, arXiv:gr-qc/9703026v1 (1997).

INTRODUCERE

1. Perspectiva aceasta desconsideră nu doar timpul, fiindcă ea reduce toate aspectele experienței noastre în lume – culoare, atingere, muzică, emoții, gânduri complexe – la rearanjări ale atomilor. Acesta e miezul viziunii atomiştilor asupra lumii, propusă de Democrit şi Lucrețiu, formalizată în „calitățile primare şi secundare“ ale lui John Locke, şi confirmată după câte s-ar părea de toate aspectele progresului ştiinței de atunci

încoace. În viziunea aceasta, reală este mişcarea – în concepția modernă, tranzițiile între stări cuantice. Tot restul este într-o mai mică sau mai mare măsură iluzie. Scopul meu nu e să pun la îndoială această cunoaştere, din care mare parte trebuie considerată adevărată, fiind atât de bine susținută de ştiință. Îmi propun doar să contest ultimul pas, care afirmă că şi timpul este o iluzie.

2. Singura excepție, aşa cum vom vedea pe larg în capitolul 11, este dacă se poate argumenta că universul nostru e un membru tipic al unui ansamblu de universuri.
3. Unii cititori se vor întreba imediat dacă trebuie să existe legi care guvernează evoluția legilor. Aceasta duce la problema meta-legilor, discutată pe larg în capitolul 19.
4. Charles Sanders Peirce, „The Architecture of Theories“, *The Monist*, 1:2, 161–176 (1891).
5. Roberto Mangabeira Unger, *Social Theory: Its Situation and Its Task*, vol. 2 din *Politics*, (New York: Verso, 2004), pp. 179–180.

6. Paul A.M. Dirac, „The Relation Between Mathematics and Physics“, *Proc. Roy. Soc.* (Edinburgh) 59: 122–29 (1939).
7. Citat în James Gleick, *Genius: the Life and Science of Richard Feynman* (New York: Pantheon, 1992), p. 93.
8. „Richard Feynman — Take the World from another Point of View“, *NOVA* (PBS, 1973). Transcript la http://calteches.library.caltech.edu/35/2/PointofView.htm.
9. Ideea aceasta a fost publicată pentru prima oară în Lee Smolin, „Did the Universe Evolve?“, *Class.Quantum. Grav.* 9: 173–191 (1992).
10. „Dinamic“ este un cuvânt pe care-l utilizez frecvent în această carte. El înseamnă schimbător, supus legii.

1. CĂDEREA

1. Aceasta în pofida multor încercări serioase ale filozofilor islamici şi medievali de a înțelege cauzele mişcării.
2. Matematicienilor le place să desemneze curbele, numerele etc. ca „obiecte“ matematice, ceea ce implică un tip de existență. Dacă nu sunteți dispuşi să adoptați o poziție filozofică radicală printr-o obişnuință de limbaj, le puteți

numi concepte. Eu voi folosi ambele cuvinte în mod interşanjabil când discut despre matematică, pentru a evita întrebarea ce tip de existență au.

3. De asemenea, nu este *întru totul* adevărat să spunem că adevărurile matematicii sunt în afara timpului, deoarece, ca ființe omeneşti, percepțiile şi gândurile noastre au loc la anumite momente în timp – iar între lucrurile la care ne gândim în timp sunt obiectele matematice. Atâta doar că acele obiecte matematice nu par să aibă ele însele o existență în timp. Ele nu iau ființă şi nu se schimbă, ci doar sunt.
4. Mulți mari matematicieni cred asta, de pildă Alain Connes. Vezi Jean-Pierre Changeux şi Alain Connes, *Conversations on Mind, Matter, and Mathematics*, ed. şi trad. M.B. DeBevoise (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998).

2. DISPARIȚIA TIMPULUI

1. Ne putem întreba dacă în Antichitate cineva a observat că apa dintr-o fântână arteziană urmează o traiectorie parabolică. Există vase greceşti care arată apa din arteziene căzând de-a lungul a ceea ce par a fi parabole, aşa încât nu e imposibil ca

un matematician să fi observat asta şi să se fi întrebat dacă în general corpurile în cădere descriu parabole.

2. Aristotel, *On the Heavens*, Cartea 1, capitolul 3 [Aristotel, *Despre cer*, trad. în limba română de Şerban Nicolau, Paideia, Bucureşti, 2005].
3. Cunosc mai mulți matematicieni şi fizicieni care au avut de ales între o carieră în muzică sau în ştiință. Unul dintre ei este Joao Magueijo, care a studiat muzica clasică contemporană înainte de a decide să treacă la fizică. Fiind un om al extremelor, el spune că de atunci nu a mai atins un pian. Faptul că-l cunosc mă ajută să-mi imaginez caracterul lui Galilei.
4. Imagine din: Peter Apian, *Cosmographia* (1539). Retipărită în Alexandre Koyre, *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, MD; Johns Hopkins, 1957).
5. După cum se sugerează în *Agora*, un film din 2009 al regizorului hispano-chilian Alejandro Amenabar.
6. Când Newton a prezentat consecințele legilor sale ale mişcării în cartea sa *Principia Mathematica*, el a folosit matematica elementară în locul calculului diferențial, pe care-l inventase cu mult

timp înainte. Aceasta pare un mister până când ne dăm seama că el încă nu publicase calculul diferențial; aşa încât a trebuit să-şi explice descoperirile cu ajutorul unei matematici cunoscute cititorilor săi.

7. Să considerăm o minge care cade aproape de suprafața Pământului. Ea este atrasă de gravitația fiecărui atom care alcătuieşte Pământul. O intuiție esențială a lui Newton a fost că toate aceste forțe pot fi însumate, iar rezultatul este ca şi cum mingea ar fi atrasă de un singur obiect aflat în centrul Pământului. Dacă arunc mingea în sus, distanța creşte cu câțiva metri, adică o schimbare foarte mică, aşa încât forța practic nu se schimbă. Forța asupra unui obiect aruncat sau lăsat să cadă poate fi considerată constantă. Rezultă de aici că accelerația r este constantă – marea descoperire a lui Galilei.

3. UN JOC CU MINGEA

1. Unii vor obiecta că matematica poate să codifice timpul – de pildă, f(*t*) este o funcție de timp. Dar omit esențialul, anume că funcția f(*t*) este atemporală.

4. A FACE FIZICĂ ÎNTR-O CUTIE

1. Sara Diamond *et al.*, *CodeZebra Habituation Cage Performances* (Rotterdam: Dutch Electronic Arts Festival, 2003).
2. Îi mulțumesc lui Saint Clair Cemin pentru discuția pe această temă.
3. Să considerăm un sistem de stele care se mişcă sub influența gravitațională reciprocă. Interacțiunea a două stele poate fi descrisă exact; Newton a rezolvat problema aceasta. Dar problema de a descrie interacțiunea gravitațională a trei stele nu admite o soluție exactă. Orice sistem alcătuit din trei sau mai multe corpuri trebuie tratat aproximativ. Asemenea sisteme prezintă o gamă largă de comportamente, între care haosul şi o sensibilitate extremă la condițiile inițiale. Deşi este cel mai simplu sistem – după problema celor două stele, rezolvată de Newton în secolul XVII – aceste fenomene nu au fost descoperite decât la începutul secolului XX de matematicianul francez Henri Poincaré. Pentru a înțelege aşa-numita problemă a celor trei corpuri a fost necesară inventarea unei întregi noi ramuri a matematicii: teoria haosului. Mai recent, sisteme de mii sau milioane de corpuri pot fi tratate în simulări pe

supercomputere. Acestea ne-au permis să înțelegem comportamentul stelelor în galaxii şi chiar interacțiunile dintre galaxii în roiuri. Dar rezultatele obținute, deşi utile, se bazează pe aproximații dintre cele mai grosiere. Stele alcătuite dintr-un număr enorm de atomi sunt tratate ca şi cum ar fi puncte, iar influența a tot ce există în afara sistemului este de regulă ignorată.

5. ELIMINAREA NOULUI ŞI A SURPRIZEI

1. Unde vom formula şi explica aparentul paradox că legile termodinamicii, precum legea conform căreia entropia poate doar să crească, nu sunt reversibile în timp, câtă vreme legile „mai fundamentale“ sunt reversibile.
2. Ludwig Boltzmann, *Lectures on Gas Theory* (Dover Publications, 2011).

6. RELATIVITATE ŞI ATEMPORALITATE

1. *The Principle of Relativity* (Dover Publications, 1952), constând din şapte articole ale lui Einstein, două ale lui Hendrik Antoon Lorentz şi câte unul al lui Hermann Weyl şi Hermann Minkowski.
2. „On the Electrodynamics of Moving Bodies“, *Ann. der Phys.* 17(10): 891–921;

„Does the Inertia of a Body Depend upon Its Energy Content?“, *Ann. der Phys.* 18: 639–641 (1905).

3. Cititorii care vor să vadă argumentele explicate în felul acesta pot consulta anexele online la www.timereborn.com.
4. Riguros vorbind, nu e necesar să presupunem că viteza luminii este o viteză limită, dar aceasta simplifică mult pedagogia.
5. Nu este acelaşi lucru cu a spune că există un fapt legat de simultaneitatea a două evenimente, care însă nu poate fi cunoscut. Deoarece observatori diferiți nu vor fi de acord dacă două evenimente sunt simultane, a spune că ele sunt sau nu astfel nu are nici o semnificație obiectivă.
6. Aceasta *nu* înseamnă că toate ceasurile vor tică de acelaşi număr de ori între două evenimente. Să considerăm două ceasuri în mişcare care trec unul pe lângă altul atunci când ambele indică amiaza, după care se despart. Unul din ele accelerează şi îşi schimbă direcția de mişcare, trecând din nou pe lângă celălalt atunci când acesta indică 12:01. Ceasul accelerat va indica un timp diferit. Dar esențial este că toți observatorii vor fi de acord de câte ori tică un anumit ceas între două

evenimente. Ceasul care ticăie de cele mai multe ori între două evenimente este cel în cădere liberă – şi, fiindcă timpul măsurat de un ceas în cădere liberă se distinge în felul acesta, îl numim timp propriu.

7. Hermann Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1949).
8. Dacă regiunea din spațiu-timp este limitată în spațiu, putem de asemenea ajunge de la oricare A la oricare B din viitorul cauzal al lui A printr-o serie de paşi folosind câțiva X intermediari. Aşadar, întinderea infinită a spațiului-timp Minkowski ajută la formularea argumentului într-un singur pas elegant, dar aceasta nu este esențial.
9. Hilary Putnam, „Time and Physical Geometry“, *Jour. Phil.* 64: 240–247 (1967).
10. John Randolph Lucas, *The Future* (Oxford, U.K.: Blackwell, 1990) p. 8.
11. Geodezicele din spațiu-timp, spre deosebire de cele din spațiu, sunt drumurile care urmează timpul cel mai propriu în loc de cea mai mică distanță. Aceasta e o ciudățenie a modului cum este formulată geometria spațiului-timp; un ceas în cădere liberă ticăie mai repede, şi

deci mai des, decât oricare alt ceas care se deplasează între două evenimente. De aici rezultă un sfat bun: dacă vrei să rămâi tânăr, accelerează.

12. Denumirea tehnică pentru această proprietate este *invarianța coordonatelor generale*; ea e strâns legată de o altă proprietate numită *invarianța difeomorfismelor*. Mecanica newtoniană poate fi de asemenea formulată într-un mod în care ceasul să fie parte a sistemului şi să existe o libertate completă în specificarea lui. Formularea aceasta a fost dezvoltată de Julian Barbour în colaborare cu Bruno Bertotti. Ea tinde să facă relațională paradigma newtoniană, dar se bazează în continuare pe legi atemporale care acționează asupra unui spațiu al configurațiilor atemporal.

7. COSMOLOGIA CUANTICĂ ŞI SFÂRŞITUL TIMPULUI

1. Charles W. Misner, Kip S. Thorne şi John Archibald Wheeler, *Gravitation* (San Francisco: W. H. Freeman, 1973).
2. Mai multe despre diversele interpretări ale teoriei cuantice şi implicațiile lor pentru argumentele din această carte pot fi găsite în anexele online.

3. Starea cuantică furnizează aceste probabilități prin intermediul unui proces în doi paşi. În primul pas, starea cuantică poate fi reprezentată atribuind oricărei configurații posibile un număr, numit *amplitudinea cuantică* a acelei configurații. În pasul al doilea se calculează pătratul modulului amplitudinii fiecărei configurații pentru a obține probabilitatea ca sistemul să se afle în acea configurație. De ce aceşti doi paşi? Amplitudinea este un număr complex – o combinație de două numere reale obişnuite. Codificarea aceasta permite ca distribuțiile de probabilitate pentru alte mărimi, de pildă impulsul, să fie codificate în aceeaşi stare cuantică.
4. Prin urmare, dacă vrem să verificăm predicția provenită dintr-o stare cuantică despre probabilitățile de a găsi electronii atomului în diverse locuri, preparăm un număr mare de atomi în acea stare şi măsurăm pozițiile electronilor în fiecare dintre ei. Însumând aceste rezultate obținem distribuția experimentală a probabilităților. Putem compara probabilitatea experimentală cu cea teoretică, aşa cum e calculată din starea cuantică. Dacă ele concordă într-o marjă

de eroare rezonabilă, avem dovada că afirmația inițială potrivit căreia sistemul se află într-o anumită stare cuantică este corectă.

5. Constanta de proporționalitate este *h*, faimoasa constantă a lui Planck, care desemnează valoarea cuantei de acțiune şi este numită după Max Planck, descoperitorul ei.
6. Există descrieri aproximative ale stărilor cosmologice cuantice corespunzând unor universuri în expansiune, dar acestea se bazează pe alegeri foarte delicate ale condițiilor inițiale. Starea generică este o suprapunere de universuri în expansiune şi în contracție. Trebuie să menționez de asemenea că acesta nu este singurul argument pentru eliminarea timpului în cosmologia cuantică, dar pentru scopurile noastre e suficient. Alte argumente sunt date în contextul abordărilor gravitației cuantice pe baza integralelor de drum; de asemenea, Connes şi Rovelli propun că timpul apare ca o consecință a faptului că universul are o temperatură finită.
7. O altă problemă rezultă din faptul că în mecanica cuantică nu toate proprietățile care pot fi observate au valori bine definite în orice moment. Deci nu toate

stările cuantice ale unui sistem au valori bine definite ale energiei sistemului, dar unele dintre ele au. Se dovedeşte de asemenea că aceste stări cu energie bine definită vibrează cu o frecvență bine definită. De fapt, asta e tot ce fac ele – vibrează pe loc cu o frecvență proporțională cu energia sistemului.

Pentru multe sisteme, există un set discret de stări cu energie bine definită. Spunem că energia acestor sisteme e cuantificată. Dar majoritatea stărilor cuantice nu au valori bine definite ale energiei; într-o astfel de stare, există probabilități ca sistemul să aibă diferite energii. Sistemele aflate în asemenea stări nu au nici valori bine definite ale frecvenței.

Pentru ca un sistem cuantic să facă mai mult decât doar să oscileze pe loc, el trebuie pus într-o stare fără o valoare bine definită a energiei. Acest lucru e uşor de realizat datorită unui principiu numit *principiul superpoziției*, care afirmă că stările cuantice pot fi însumate. Acesta e un aspect care ține de proprietățile ondulatorii ale unui sistem cuantic: coarda unei chitare sau a unui pian vibrează cu mai multe frecvențe simultan, iar mişcarea corzii este suma oscilațiilor la fiecare

frecvență individuală. Aruncă două pietre într-o găleată cu apă: fiecare generează o undă, iar tiparul pe suprafața apei atunci când ele se întâlnesc este suma tiparelor formate de fiecare plescăit în parte. Principiul superpoziției funcționează la fel; date fiind două stări cuantice oarecare, prin însumarea lor se poate forma o a treia stare.

Această capacitate de a însuma stările cuantice e esențială pentru argumentul nostru că fizica newtoniană aproximează mecanica cuantică. Avem nevoie de ea pentru a reproduce faptul simplu că în fizica newtoniană configurațiile se modifică odată cu mişcarea particulelor în spațiu. Aceasta nu se poate deduce din stări care doar oscilează în timp, aşa cum fac stările cu energie bine definită. Pentru a reproduce mişcarea, avem nevoie de stări cu un comportament mai complex, iar aceasta necesită stări cu valori nedefinite ale energiei. Ele sunt construite însumând, sau suprapunând, stări cu energii diferite.

Dar în cosmologia cuantică toate stările au aceeaşi energie, aşa încât metoda uzuală de a extrage mişcarea obişnuită din fizica

cuantică eşuează. Nu putem deduce predicțiile relativității generale din stările cuantice ale universului.

8. Abhay Ashtekar, „New Variables for Classical and Quantum Gravity“, *Phys. Rev. Lett.* 57:18, 2244–2247 (1986).
9. Ted Jacobson şi Lee Smolin, „Nonperturbative Quantum Geometries“, *Nucl. Phys. B.*, 299:2, 295–345 (1988).
10. Carlo Rovelli şi Lee Smolin, „Knot Theory and Quantum Gravity“, *Phys. Rev. Lett.* 61:10, 1155–1158 (1988).
11. Thomas Thiemann, „Quantum Spin Dynamics (QSD): II. The Kernel of the Wheeler–DeWitt Constraint Operator“, *Class. Quantum Grav.* 15, 875–905 (1998).
12. Modele de cosmologie cuantică recent elaborate studiază versiunile cuantice ale unor modele cosmologice simplificate asemănătoare celor pe care le-am discutat în capitolul 6. Ele se numesc modele cosmologice cuantice cu bucle. Modele anterioare de cosmologie cuantică au fost studiate folosind aproximații grosiere care au estompat chestiunile fundamentale; modelele recente sunt simple şi suficient de precis definite pentru a furniza soluții exacte ale acestor ecuații. Deşi

impresionante, trebuie subliniat că sunt modele extrem de simplificate. În particular, problema timpului este ocolită, vorbindu-se nu despre timp ci despre corelațiile dintre valorile diferitelor observabile. Un câmp este tratat ca un ceas în raport cu care sunt măsurate schimbările din celelalte câmpuri. Aceasta oferă o metodă aproximativă şi relațională de a extrage timpul dintr-o descriere atemporală a lumii. Mai mult, chestiunile nu se limitează la gravitația cuantică cu bucle sau la cosmologia cuantică cu bucle, chiar dacă acestea sunt cele mai urgente în contextele respective. Teoria corzilor, în măsura în care poate fi aplicată unui context cosmologic închis, posedă un analog al ecuației Wheeler–DeWitt. Problema interpretării universului atemporal care rezultă este o provocare pentru toți teoreticienii care se gândesc la unificare sau la universul foarte timpuriu.

INTERLUDIU: NEMULȚUMIREA LUI EINSTEIN

1. Jim Brown îmi spune că Rudolf Carnap se gândea la ceva asemănător distincției dintre mărimile principale şi secundare. Noi percepem roşu, dar ce se întâmplă în

realitate este că atomii vibrează şi emit lumină cu o anumită frecvență. Percepem trecerea timpului, dar adevărul este că suntem un mănunchi de linii de univers într-un univers-bloc, cu capacitatea de a percepe şi a depozita amintiri. Pentru mine, acesta e un mod de a enunța problema, dar nu o rezolvă.

2. *The Philosophy of Rudolf Carnap: Intellectual Autobiography*, ed. Paul Arthur Schillp (La Salle, IL: Open Court, 1963) pp. 37–38.

8. EROAREA COSMOLOGICĂ

1. Carlo Rovelli, *The First Scientist: Anaximander and His Legacy* (Yardley, PA:Westholme Publishing, 2011).
2. Andrew Strominger, „Superstrings with Torsion“, *Nucl. Phys. B* 274:2, 253–284 (1986).
3. O dilemă este un raționament care presupune alegerea între două concluzii, nici una din ele acceptabilă.
4. Cineva ar putea obiecta că atunci când construim modele cosmologice în relativitatea generală aplicăm ecuațiile lui Einstein întregului univers. Dar nu e adevărat. De fapt, aplicăm o trunchiere a ecuațiilor lui Einstein unui subsistem care

constă în raza de curbură a universului. Tot ce este mic – inclusiv noi, observatorii – este eliminat din sistemul modelat.

5. De exemplu, Modelul Standard ar putea fi extins prin adăugarea unor particule extrem de masive, care practic nu ar afecta universul în cea mai mare parte a istoriei sale.

9. PROVOCAREA COSMOLOGICĂ

1. Alte structuri de fundal fixe includ geometria spațiilor în care există stările cuantice; noțiunea de distanță pe acele spații, folosită pentru a defini probabilitățile; şi geometria spațiilor în care există gradele de libertate ale Modelului Standard. Structurile de fundal folosite în relativitatea generală includ structura diferențială a spațiului-timp şi, adesea, geometria granițelor asimptotice.
2. Termenii *dependent de fundal* şi *independent de fundal* au o semnificație mai restrânsă în discuțiile despre teoriile cuantice ale gravitației; în acel context, o teorie dependentă de fundal este una care presupune un fundal fix de spațiu-timp clasic. Teoriile perturbative, precum relativitatea generală cuantică perturbativă şi teoria perturbativă a corzilor, sunt

dependente de fundal. Abordările independente de fundal ale gravitației cuantice includ gravitația cuantică cu bucle, mulțimile cauzale, triangulațiile dinamice cauzale şi grafurile cuantice.

3. Amit P.S. Yadav şi Benjamin Wandelt, „Detection of Primordial Non-Gaussianity (fNL) in the WMAP 3-Year Data at Above 99.5% Confidence“, arXiv:0712.1148 [astro-ph], PRL100,181301, 2008.
4. Xingang Chen *et al.*, „Observational Signatures and Non-Gaussianities of General Single Field Inflation“, arXiv:hep-th/0605045v4 (2008); Clifford Cheung *et al.*, „The Effective Field Theory of Inflation“, arXiv.org/abs/0709.0293v2 [hep-th] (2008); R. Holman şi Andrew J. Tolley, „Enhanced Non-Gaussianity from Excited Initial States“, arXiv:0710.1302v2 (2008).
5. Asta nu înseamnă că efectele condițiilor inițiale asupra CMB nu pot fi niciodată distinse de modificările teoriei inflaționare, cel puțin în cadrul unei clase fixe de modele. Vezi Ivan Agullo, Jose Navarro-Salas, Leonard Parker, arXiv:1112.1581v2. Multe mulțumiri lui Matthew Johnson pentru discuțiile asupra acestui aspect.

6. Unicitatea universului zădărniceşte alte încercări de a testa teoriile despre universul timpuriu. În laboratoarele de fizică obişnuite, ne confruntăm întotdeauna cu zgomotul care apare din incertitudinile statistice în date. Deseori acesta poate fi redus efectuând multe măsurători, fiindcă efectul zgomotului aleatoriu scade odată cu medierea unui număr mai mare de rezultate. Dat fiind că universul se petrece o singură dată, acest lucru e imposibil în unele observații cosmologice. Aceste incertitudini statistice se numesc *varianță cosmică* [*cosmic variance*].
7. Lee Smolin, „The Thermodynamics of Gravitational Radiation“, *Gen. Rel. & Grav.* 16:3, 205–210 (1984); „On the Intrinsic Entropy of the Gravitational Field“, *Gen. Rel. & Grav.* 17:5, 417–437 (1985).
8. Poate că o tranziție de fază ne va nimici, odată cu dezintegrarea vidului fals în care poate că trăim. Vezi, de exemplu, Sidney Coleman şi Frank de Luccia, „Gravitational Effects on and of Vacuum Decay“, *Phys. Rev. D* 21:12, 3305–3315 (1980).

9. Aceasta, fiindcă veni vorba, explică de ce corpurile în cădere urmează o traiectorie parabolică – acele curbe satisfac ecuații simple care necesită numai două tipuri de date pentru a le defini, anume accelerația gravitațională şi viteza şi direcția inițiale ale mişcării.

10. PRINCIPII PENTRU O COSMOLOGIE NOUĂ

1. Urmez aici sfatul lui David Finkelstein, profesor emeritus la Georgia Tech şi unul dintre înțelepții fizicii contemporane, care mi-a spus cândva că un start eficient pentru marele salt conceptual necesar în fizică este oferit de examinarea istoriei sale din ultimele patru secole.
2. Trebuie făcută distincția între simetrie şi simetrie de etalonare. Prima presupune transformări fizice care lasă legile neschimbate. A doua este o reformulare matematică a descrierii configurației unui sistem. Argumentul pe care-l ofer aici o exclude pe prima, dar nu şi pe a doua.
3. E. Noether, „Invariante Variationsprobleme“, *Nachr. v. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen*, pp. 235–257 (1918).

4. Acest raționament general este confirmat în teoria relativității generale, care, atunci când e aplicată unui univers închis, nu are nici simetrii, nici legi de conservare.
5. Roger Penrose a susținut asta cu mult timp în urmă. Într-adevăr, vedem din exemplul teoriei corzilor că, cu cât o teorie e mai simetrică, cu atât puterea ei explicativă e mai redusă.
6. Singurul lucru imprecis din concluzia lui Peirce este ce înțelegea el prin evoluție. Oamenii de ştiință au arătat că el se referea la ceva asemănător selecției naturale darwiniste. Se ştie că Peirce a fost mult influențat de Darwin. Dar numai pe baza textului putem presupune doar că el înțelegea evoluția în sensul mai general al schimbării în timp conform unui anumit proces dinamic. Asta e suficient pentru scopul prezentei noastre discuții, care este de a stabili că întrebarea „De ce legile acestea?“ poate fi explicată ştiințific numai dacă timpul este real.
7. Roberto Mangabeira Unger, manuscris.

11. EVOLUȚIA LEGILOR

1. Lee Smolin, „Did the Universe Evolve?“, *Class. Quant. Grav.* 9: 173–191 (1992).

2. Alex Vilenkin, „Birth of Inflationary Universes“, *Phys. Rev. D*, 27:12, 2848–2855 (1983); Andrei Linde, „Eternally Existing Self-Reproducing Chaotic Inflationary Universe“, *Phys. Lett. B*, 175:4, 395–400 (1986).
3. Au fost publicate mai multe critici la adresa selecției naturale cosmologice, şi din câte ştiu am răspuns la toate în anexa la *The Life of the Cosmos* şi în articolele ulterioare. Pentru critici, vezi T. Rothman şi G.F.R. Ellis, „Smolin's Natural Selection Hypothesis“, *Q. Jour. Roy. Astr. Soc.* 34, 201–212 (1993); Alex Vilenkin, „On Cosmic Natural Selection“, arXiv:hep-th/0610051v2 (2006); Edward R. Harrison, „The Natural Selection of Universes Containing Intelligent Life“, *Q. Jour. Roy. Astr. Soc.* 36, 193–203 (1995); Joseph Silk, „Holistic Cosmology“, *Science*, 277:5326, 644 (1997); şi John D. Barrow, „Varying G and Other Constants“, arXiv:gr-qc/9711084v1 (1997). În particular, afirmația că există un argument simplu conform căruia modificarea constantei lui Newton (toți ceilalți parametri fiind fixați) duce la creşterea numărului de găuri negre este greşită, deoarece efectele complicate

asupra formării galaxiilor şi a stelelor şi a evoluției stelare nu sunt luate în considerare.

4. În evoluția biologică există de fapt două peisaje: peisajul genelor, care descrie genotipurile posibile (secvențe ADN), şi peisajul fenotipurilor, care sunt expresia fizică a genelor. În aplicarea selecției naturale în fizică, există tot două niveluri ale descrierii. Probabilitatea ca un univers să se reproducă depinde de valorile parametrilor Modelului Standard – aceştia sunt analogi cu fenotipurile. Dar într-o teorie fundamentală precum teoria corzilor, Modelul Standard e o descriere aproximativă; la baza lui se află o alegere a teoriilor – acestea sunt analoage genotipurilor. În evoluția biologică, relația dintre genotip şi fenotip poate fi complexă şi indirectă, iar acelaşi lucru e valabil şi în fizică. Aşadar, prudența ne impune să distingem între peisajul unei propuneri pentru o teorie fundamentală, cum ar fi teoria corzilor, şi peisajul parametrilor Modelului Standard.
5. Altele sunt (1) o inversare a semnului diferenței dintre masa neutronului şi cea a protonului; (2) o creştere sau scădere a constantei Fermi suficient de mare pentru

a influența energia şi materia expulzate de supernove; (3) o creştere a diferenței de masă dintre neutron şi proton, a masei electronului, a masei neutrinului electronic şi a constantei structurii fine, sau o scădere a cuplajului interacțiunii tari, suficient de mari pentru a destabiliza carbonul (sau orice modificare simultană având acelaşi efect); şi (4) o creştere a masei cuarcului „strange“.

6. James M. Lattimer şi M. Prakash, „What a Two Solar Mass Neutron Star Really Means“, arXiv:1012.3208v1 [astro-ph.SR] (2010).
7. În articolul inițial despre selecția naturală cosmologică, precum şi în *The Life of the Cosmos*, am folosit estimarea cea mai mică pentru masa critică – adică 1,6 mase solare. Când am aflat despre descoperirea unei stele neutronice având dublul masei Soarelui, am început să scriu un articol arătând că selecția naturală cosmologică fusese infirmată. Mă aşteptam la asta, fiindcă al doilea lucru ca importanță care se poate întâmpla în domeniul gravitației cuantice este să faci o predicție care e dezmințită de un experiment. Totuşi, m-am mai uitat odată peste estimările teoretice pentru masa critică şi am văzut

că experții avertizaseră că acestea ar permite o stea de neutroni-kaoni cu 2 mase solare.

8. Vezi A.D. Linde, *Particle Physics and Inflationary Cosmology* (Chur, Elveția: Harwood, 1990), pp. 162–168, mai ales argumentul care duce la ec. 8.3.17. (Cartea este disponibilă şi la arXiv:hep-th/0503203v1.) Parametrul capabil să mărească fluctuațiile de densitate este intensitatea cu care interacționează inflatonul (particula purtătoare a forței inflaționare). Aşa cum arată Linde, în unele modele simple, creşterea acestui parametru duce la micşorarea universului cu exponențiala inversului rădăcinii pătrate a acelui parametru de interacțiune. Multe mulțumiri lui Paul Steinhardt pentru o conversație care a lămurit acest aspect.
9. Pentru mai multe amănunte despre selecția naturală cosmologică, vezi *The Life of the Cosmos* sau următoarele articole ale mele: „The Fate of Black Hole Singularities and the Parameters of the Standard Models of Particle Physics and Cosmology“, arXiv:gr-qc/9404011v1 (1994); „Using Neutrons Stars and Primordial Black Holes to Test Theories of Quantum

Gravity“, arXiv:astro-ph/9712189v2 (1998); „Cosmological Natural Selection as the Explanation for the Complexity of the Universe“, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 340:4, 705–13 (2004); „Scientific Alternatives to the Anthropic Principle“, arXiv:hep-th/0407213v3 (2004); „The Status of Cosmological Natural Selection“, arXiv:hep-th/0612185v1 (2006); şi „A Perspective on the Landscape Problem“, contribuție invitată pentru un număr special din *Foundations of Physics* intitulat „Forty Years Of String Theory: Reflecting On the Foundations“, doi: 10.1007/s10701-012-9652-x arXiv:1202.3373.

10. Roger Penrose mi-a obiectat că singularitățile găurilor negre au o geometrie foarte diferită de singularitatea cosmologică inițială, făcând improbabil ca o gaură neagră să fie sursa universului nostru, sau a oricăror altele. Acesta este un motiv de preocupare, dar problema poate fi abordată dacă efectele cuantice au jucat un rol important în eliminarea singularității.
11. De remarcat că ideea evoluției legilor nu necesită, prin ea însăşi, simultaneitate

globală. O modificare a legilor s-ar putea produce într-un eveniment care influențează doar evenimente din viitorul său cauzal. Aşa cum am explicat în capitolul 6, ordonarea cauzală e compatibilă cu relativitatea simultaneității. Dar pentru a avea sens, selecția naturală cosmologică necesită un timp global – iar acesta intră într-adevăr în contradicție cu relativitatea simultaneității.

12. Justificarea pentru aceasta este că bulele sunt produse la o scară a fizicii consideră de regulă a fi scara marii unificări, care depăşeşte cu cel puțin 15 ordine de mărime masele cuarcilor şi leptonilor din Modelul Standard. Este aşadar probabil că masele acestor fermioni uşori sfârşesc prin a fi alese într-un mod eminamente aleatoriu atunci când se formează universuri-bulă.
13. B.J. Carr şi M.J. Rees, „The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World“, *Nature* 278: 605–12 (1979); John D. Barrow şi Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford University Press, 1986).

14. Shamit Kachru *et al.*, „De Sitter Vacua in String Theory“, arXiv:hep-th/ 0301240 v2 (2003).
15. Oliver DeWolfe *et al.*, „Type IIA Moduli Stabilization“, arXiv:hep-th/ 0505160v3(2005); Jessie Shelton, Washington Taylor, şi Brian Wecht, „Generalized Flux Vacua“, arXiv:hep-th/0607015 (2006).
16. George F.R. Ellis şi Lee Smolin, „The Weak Anthropic Principle and the Landscape of String Theory“, arXiv:0901.2414v1 [hep-th] (2009).
17. Universurile cu constantă cosmologică negativă descrise de Washington Taylor se deosebesc de al nostru în două privințe. În primul rând, la fel ca în toate teoriile corzilor, sunt implicate dimensiuni suplimentare. Ele nu pot fi observate, pentru că sunt minuscule şi înfăşurate, dar în universurile lui Taylor ele pot să devină mari. Aceasta contrazice observațiile într-un mod şi mai flagrant decât semnul greşit al constantei cosmologice şi ar putea fi considerată încă o predicție greşită a teoriei corzilor. Totuşi, se poate argumenta de asemenea că în lumile acestea viața este imposibilă. De ce, nu-mi este întru totul clar, dat fiind că sunt scenarii ale

teoriei corzilor în care particulele şi forțele sălăşuiesc pe suprafețe tridimensionale numite brane, care plutesc în dimensiuni suplimentare. În acel tip de configurație, viața ar putea fi compatibilă cu existența unor dimensiuni suplimentare mari.

Ipoteticele lumi cu constantă cosmologică negativă au de asemenea o simetrie pe care lumea noastră n-o are, anume supersimetria. Aceasta poate împiedica formarea unor structuri complexe; totuşi, e posibil ca o anumită fracțiune a acestora să permită ruperea spontană a supersimetriei, caz în care viața ar putea înflori acolo. Atâta vreme cât sunt infinit mai multe teorii ale corzilor cu constantă cosmologică negativă decât cele cu constantă cosmologică pozitivă, chiar dacă doar foarte puține dintre primele pot susține viața, acestea le vor domina pe ultimele. Îi mulțumesc lui Ben Freivogel pentru conversațiile pe această temă.

18. În cel mai bun caz, am putea detecta influența unor ciocniri din trecut ale altor universuri cu universul nostru. Posibilitatea aceasta a fost studiată, şi ea duce la predicții unilaterale – anume că s-ar putea observa ceva interesant care să poată fi interpretat ca o ciocnire a altor

universuri cu al nostru, dar dacă nu se observă nimic, cum pare să fie cazul până acum, nici o ipoteză nu e infirmată. Stephen M. Feeney *et al.*, „First Observational Tests of Eternal Inflation: Analysis Methods and WMAP 7-Year Results“, arXiv:1012.3667v2 [astro-ph.CO] (2011); şi Anthony Aguirre şi Matthew C. Johnson, „A Status Report on the Observability of Cosmic Bubble Collisions“, arXiv:0908.4105v2 [hep-th] (2009) şi 2011 *Rept. Prog. Phys.*74:074901.

19. Steven Weinberg, „Anthropic Bound on the Cosmological Constant“, *Phys. Rev. Lett.* 59:22, 2607–1260 (1987).
20. În unități ale scării Planck.
21. Adam G. Riess *et al.*, „Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant“, *Astron. Jour.* 116, 1009–1038 (1998).
22. Atunci când evaluăm afirmația că argumentul lui Weinberg oferă dovezi în favoarea existenței altor universuri, trebuie să ne ferim de raționamentul eronat potrivit căruia valoarea mică, foarte improbabilă, pe care o ia constanta cosmologică este ea însăşi o dovadă

pentru afirmația că universul nostru este doar unul dintr-o mulțime vastă de universuri, în fiecare dintre ele valoarea constantei cosmologice fiind aleasă la întâmplare. Raționamentul acesta e similar cu cel al erorii inverse a jucătorilor [*inverse gamblers fallacy*], discutată de filozoful Ian Hacking. Să presupunem că o persoană intră într-o cameră şi vede pe cineva că aruncă zarurile şi obține de două ori şase. Ea ar fi tentată să conchidă că zarurile au fost aruncate de multe ori mai înainte, sau că au fost aruncate simultan în multe locuri, dar acestea ar fi concluzii greşite, fiindcă probabilitatea de a obține de două ori şase este aceeaşi de fiecare dată. Hacking numeşte aceasta eroarea inversă a jucătorilor; Ian Hacking, „The Inverse Gambler's Fallacy: The Argument from Design. The Anthropic Principle Applied to Wheeler Universes", *Mind* 96:383 (iulie 1987), pp. 331–340, doi:10.1093/mind/XCVI.383.331. John Leslie a obiectat în *Mind* 97:386 (aprilie 1988), pp. 269–272, doi:10.1093/mind/XCVII.386.269 că eroarea aceasta nu se aplică argumentului antropic, fiindcă trebuie să ne găsim într-un univers prielnic vieții. Dar argumentul

lui Weinberg nu se referă la caracterul prielnic, ci doar la posibilitatea ca universul să fie plin de galaxii. Am putea trăi într-un univers în care s-a format o singură galaxie, şi totuşi să fim vii – prin urmare faptul că universul e plin de galaxii nu este necesar pentru viață.

23. Jaume Garigga şi Alex Vilenkin au arătat, în „Anthropic Prediction for Lambda and the Q Catastrophe“, arXiv:hep-th/0508005v1 (2005), că o anumită combinație a celor două constante e mai eficientă când este aplicată argumentului lui Weinberg: se întâmplă să fie raportul dintre constanta cosmologică şi cubul mărimii fluctuațiilor. Dar rămân două probleme. În primul rând, ce stabileşte mărimea fluctuațiilor? În al doilea rând, ştiam deja că argumentul funcționează foarte bine dacă se ia în considerare numai constanta cosmologică. Există multe combinații ale celor două constante care ar putea fi încercate; faptul că o combinație este mai eficientă decât altele nu e surprinzător şi, chiar dacă există un argument în acest sens, aceasta nu constituie o dovadă pentru ipoteza că universul nostru este o lume dintr-un multivers vast.

24. Michael L. Graesser, Stephen D.H. Hsu, Alejandro Jenkins şi Mark B. Wise, „Anthropic Distribution for Cosmological Constant and Primordial Density Perturbations“, hep-th/0407174, *Phys.Lett.* B600, 15–21 (2004).
25. O explicație pentru valoarea constantei cosmologice foarte diferită de cea a lui Weinberg este oferită de Rafael Sorkin şi colaboratorii săi pe baza teoriei mulțimilor cauzale: Maqbool Ahmed *et al.*, „Everpresent Lambda“, arXiv:astro-ph/0209274v1 (2002).

12. MECANICA CUANTICĂ ŞI ELIBERAREA ATOMULUI

1. Există perspective alternative asupra teoriei cuantice conform cărora ea poate fi aplicată universului. Pentru motivele care mă fac să cred că ele sunt greşite, vezi anexele online.
2. Pentru particulele obişnuite, impulsul este masa lor înmulțită cu viteza. O altă expresie a măsurătorilor incompatibile este principiul de incertitudine, potrivit căruia cu cât măsurăm mai precis poziția, cu atât eroarea în măsurarea impulsului este mai mare, şi viceversa.

3. Pentru o explicație mai tehnică, vezi Lee Smolin, „Precedence and Freedom in Quantum Physics“, arXiv:1205.3707v1 [quant-ph] (2012).
4. Charles Sanders Peirce, „A Guess at the Riddle“, în *The Essential Pierce, Selected Philosophical Writings*, ed. Nathan Houser şi Christian Kloesel (Bloomington IN: Indiana University Press, 1992), p. 277. Scrierile lui Peirce sunt rareori clare, de aceea iată un rezumat din *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (http://plato.stanford.edu/entries/peirce/#anti):

O cale posibilă de-a lungul căreia natura evoluează şi-şi dobândeşte comportamentele a fost explorată de Peirce folosind analiza statistică în situațiile unor teste experimentale în care probabilitățile rezultatelor în teste ulterioare nu sunt independente de rezultatele din testele anterioare, aşa-numitele „teste non-bernoulliene“. Peirce a arătat că, dacă postulăm un anumit comportament primordial în natură, şi anume o tendință oricât de vagă de a adopta comportamente oricât de mărunte, atunci rezultatul pe termen lung e adesea un grad înalt de regularitate şi o mare

precizie macroscopică. Din acest motiv, Peirce a sugerat că în trecutul îndepărtat natura a fost considerabil mai spontană decât a devenit în prezent, şi că în general şi per ansamblu *toate* comportamentele pe care natura a ajuns să le etaleze au evoluat. La fel ca ideile, formațiunile geologice sau speciile biologice, şi comportamentul natural a evoluat.

5. John Conway şi Simon Kochen, „The Free Will Theorem“, *Found. Phys.*, 36:10, 1441 (2006).
6. Pentru completitudine, trebuie să menționez că unii fizicieni răspund la argumentul acesta susținând o formă puternică de determinism, potrivit căreia observatorii nu sunt liberi să aleagă ce să măsoare. Din punctul acesta de vedere „supradeterminist“ ne putem imagina că există corelații între alegerile făcute de observatori şi alegerile făcute de atomi, situate departe în trecutul experimentului. Pe baza acestei presupuneri putem nega concluziile teoremelor lui Conway şi Kochen, precum şi teorema lui Bell.
7. Lucien Hardy, „Quantum Theory from Five Reasonable Axioms“, arXiv:quantph/0101012v4 (2001).

8. Lluis Masanes şi Markus P. Mueller, „A Derivation of Quantum Theory from Physical Requirements“, arXiv:1004.1483v4 [quant-ph] (2011). Cercetări asemănătoare au fost efectuate de Borivoje Dakic şi Caslav Brukner, „Quantum Theory and Beyond: Is Entanglement Special?“, arXiv:0911.0695v1 [quant-ph] (2009).
9. Markus Muller are în curs de publicare un articol interesant, relevant pentru problema aceasta.

13. BĂTĂLIA DINTRE RELATIVITATE ŞI CUANTE

1. Pentru o discuție amănunțită a lucrării lui de Broglie şi o traducere în engleză a articolului său din 1927, vezi Guido Bacciagaluppi şi Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference* (New York: Cambridge University Press, 2009), disponibil la arXiv:quant-ph/0609184v2 (2009).
2. Vezi John S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy* (New York: Cambridge University Press, 2004).

3. John von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* (Berlin, Julius Springer Verlag, 1932), pp. 167 ff. sau *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, R.T. Beyer, trad. (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996).
4. Grete Hermann, „Die Naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik“, *Abhandlungen der Fries'schen Schule* (1935).
5. David Bohm, *Quantum Theory* (New York: Prentice Hall, 1951).
6. —, „A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of 'Hidden' Variables. II“, *Phys. Rev.*, 85:2, 180–193 (1952).
7. Antony Valentini, „Hidden Variables and the Large-scale Structures of Space-Time“, în *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*, ed. W.L. Craig şi Q. Smith (London: Routledge, 2008), pp. 125–155.
8. Lee Smolin, „Could Quantum Mechanics Be an Approximation to Another Theory?“, arXiv:quant-ph/0609109v1 (2006).
9. Albert Einstein, „Remarks to the Essays Appearing in This Collective Volume“, în

Albert Einstein: Philosopher-Scientist, ed. P.A. Schilpp (New York: Tudor, 1951), p. 671.

10. Pentru o explicație mai tehnică, vezi Lee Smolin, „A Real Ensemble Interpretation of Quantum Mechanics“, arXiv:1104.2822v1 [quant-ph] (2011).

14. TIMPUL RENĂSCUT DIN RELATIVITATE

1. Fără îndoială, imaginea universului-bloc poate să încorporeze ideea că legile se schimbă în timp, dar afirm că ea nu poate să explice cum şi de ce s-au schimbat.
2. S-ar putea crede că eterul a fost desființat de experimentul Michelson-Morley, dar nimeni înainte de Einstein în 1905 nu a avut intuiția să recunoască lucrul acesta.
3. Demonstrația implică geometria elementară, dar nu-l voi plictisi pe cititor. Ea poate fi găsită în orice manual de relativitate generală.
4. Să presupunem că ne mişcăm spre nord în raport cu observatorul acesta special. Vom vedea că radiația CMB care se îndreaptă spre noi din direcția nord e deplasată spre albastru ca o consecință a efectului Doppler, care deplasează energia şi temperatura fotonilor ce vin din-spre nord

către valori mai mari. Fotonii CMB care vin dinspre sud suferă efectul opus: frecvențele lor sunt deplasate spre roşu, iar temperaturile lor scad. Putem aşadar conchide că ne mişcăm în raport cu fondul cosmic de microunde. Invers, observatorul care vede că temperatura este aceeaşi în toate direcțiile poate trage concluzia că se află în repaus față de CMB.

5. În ultimii ani, experimentele au testat valabilitatea principiului relativității în condiții extreme, în care protonii sunt observați deplasându-se cu 0,99999 din viteza luminii. La viteza aceasta incredibilă, efectele relativiste sunt atât de importante încât energia pe care o au protonii este de 10 miliarde de ori mai mare decât energia inerentă în masele lor. Nu m-ar fi surprins dacă acele observații ar fi dezvăluit un eşec al principiului relativității, dat fiind că un asemenea eşec e prezis de unele abordări ale gravitației cuantice cam la aceste energii. Alte observații recente au testat – şi confirmat – principiul că toți fotonii au aceeaşi viteză, cu o asemenea precizie încât observațiile ar fi putut să arate dacă un foton l-a depăşit pe altul cu o secundă după ce perechea s-a deplasat împreună

timp de 10 miliarde de ani. Aceste rezultate i-au dezamăgit pe teoreticienii care se aşteptau ca efectele gravitației cuantice să altereze viteza luminii cu un factor care depinde de energia fotonului. Un alt set de observații a confirmat cu un grad înalt de precizie că neutrinii au o limită de viteză egală cu cea a luminii (contrar rapoartelor premature despre neutrini superluminici care au făcut senzație în 2011).

6. Au fost propuse şi alte definiții pentru o noțiune de timp privilegiat în relativitatea generală. Care dintre ele este corectă e o întrebare ştiințifică la care vor răspunde progresele ulterioare, sau poate chiar experimentul. Putem presupune aşadar că există o noțiune de timp privilegiat, lăsând deschisă întrebarea care anume. Printre celelalte propuneri menționez: Chopin Soo şi Hoi-Lai Yu, „General Relativity Without Paradigm of Space-Time Covariance: Sensible Quantum Gravity and Resolution of the Problem of Time“, arXiv:1201.3164v2 [gr-qc] (2012); Niall O Murchadha, Cho-pin Soo şi Hoi-Lai Yu, „Intrinsic Time Gravity and the Lichnerowicz-York Equation“, arXiv:1208. 2525vi[gr-qc](2012); şi

George F.R. Ellis şi Rituparno Goswami, „Space Time and the Passage of Time“, arXiv:1208.2611v3 (2012).

7. Henrique Gomes, Sean Gryb şi Tim Koslowski, „Einstein Gravity as a 3D Conformally Invariant Theory“, arXiv:1010.2481v2 [gr-qc] (2011).
8. Din motive tehnice, aceasta se numeşte corespondența AdS/CFT.
9. Pentru mai multe informații despre dinamica formelor, vezi anexele online.
10. În acest capitol am menționat deja că unele soluții simetrice ale relativității generale au o stare privilegiată de repaus, deci un timp privilegiat. Asta e altceva. Cazul anterior se limitează la soluții speciale, pe când timpul privilegiat identificat de dinamica formelor e general şi există chiar şi în spații-timp care n-au nici o simetrie. Există o restricție slabă impusă spațiului-timp, anume să aibă ceea ce se numeşte „tranşare în felii cu curbură medie constantă“ [*constant mean-curvature slicing*]; se crede că asta nu împiedică aplicarea teoriei la spații-timp cosmologice. Noțiunea aceasta de timp e globală şi e determinată dinamic de câmpul gravitațional şi de materie. Nu e deci o revenire la timpul absolut al lui

Newton. În general, feliile de spațiu-timp alese sunt minimal curbate. Feliile în care este divizat spațiul-timp îşi pot minimiza curbura în acelaşi sens în care baloanele de săpun iau forme care le minimizează curbura.

15. EMERGENȚA SPAȚIULUI

1. Arhitecții, Saucier + Perrotte, au sugerat, atunci când le-am spus de cât spațiu aveam nevoie pentru table, că clădirea ar putea fi acoperită în întregime cu ardezie şi sticlă, aşa încât să putem scrie peste tot.
2. Pentru o recenzie recentă, vezi J. Ambjorn *et al.*, „Nonperturbative Quantum Gravity“, arXiv:1203.3591v1 [hep-ph] (2012); „Emergence of a 4-D world from Causal Quantum Gravity“, *Phys. Rev. Lett.* 93 (2004) 131301 [hep-th/0404156].
3. Fotini Markopoulou, „Space Does Not Exist, So Time Can“, arXiv: 0909.1861v1 [grqc] (2009).
4. Tomasz Konopka, Fotini Markopoulouşi Lee Smolin, „Quantum Graphity“, arXiv:hep-th/0611197v1 (2006); Tomasz Konopka, Fotini Markopoulou şi Simone Severini, „Quantum Graphity: A Model of Emergent Locality“, arXiv:0801.0861v2 (2008); Alioscia Hamma *et al.*, „A

Quantum Bose-Hubbard Model with Evolving Graph as Toy Model for Emergent Spacetime“, arXiv:0911.5075v3 [gr-qc] (2010).
5. Petr Horava, „Quantum Gravity at a Lifshitz Point“, arXiv:0901.3775v2 [hep-th] (2009).
6. T. Banks *et al.*, „M Theory as a Matrix Model: A Conjecture“, arXiv: hep-th/9610043v3 (1997).
7. Specialiştii ar putea să atragă atenția că volumul şi aria nu sunt observabile fizice, deoarece nu sunt invariante la difeomorfisme ale spațiului-timp. Dar în unele cazuri ele sunt fizice, fiindcă sunt proprietăți ale unei granițe unde difeomorfismele sunt fixate, sau fiindcă a fost fixată o etalonare a timpului, dând naştere unei descrieri fizice a evoluției generată de un hamiltonian.
8. Vezi, de exemplu, Aurelien Barrau *et al.*, „Probing Loop Quantum Gravity with Evaporating Black Holes“, arXiv:1109.4239v2 (2011).
9. În care timp? Orice definiție a timpului! În gravitația cuantică cu bucle timpul e arbitrar, întrucât ea este o cuantificare a

relativității generale în care timpul poate fi ales în mod arbitrar, reflectând natura sa multiformă.

10. În abordarea inițială a gravitației cuantice cu bucle, se consideră că graful e conținut într-un spațiu tridimensional şi are doar cele mai simple proprietăți. Nimic care poate fi măsurat – de pildă lungimea, aria sau volumul – nu e fixat. Dar numărul dimensiunilor spațiale este fixat, la fel şi conexiunea spațiului, sau topologia lui. (Prin „topologie“ înțelegem modul general cum e alcătuit; ea nu se schimbă dacă forma e distorsionată fără tăieturi.)
Topologia poate fi cel mai bine explicată prin exemple şi e cel mai uşor de vizualizat în două dimensiuni. Să considerăm o suprafață bidimensională închisă. Poate fi asemănătoare unei sfere sau unui tor (o formă de covrig). O sferă poate fi deformată în mod continuu în diverse forme, dar nu poate fi distorsionată fără tăieturi într-un tor. Alte topologii ale unor suprafețe bidimensionale pot semăna cu nişte covrigi cu multe găuri.
Odată ce am fixat topologia spațiului, putem considera diversele moduri în care un graf poate fi inserat în el. De exemplu,

muchiile grafului pot fi înnodate, împletite sau legate altfel între ele. Fiecare mod de a insera graful în spațiu produce o stare cuantică distinctă a geometriei (dar în majoritatea articolelor actuale din gravitația cuantică grafurile sunt definite fără referire la vreo inserare).

11. Vezi, de exemplu, Muxin Han şi Mingyi Zhang, „Asymptotics of Spinfoam Amplitude on Simplicial Manifold: Lorentzian Theory“, arXiv:1109.0499v2 (2011); Elena Magliaro şi Claudio Perini, „Emergence of Gravity from Spinfoams“, arXiv:1108.2258v1 (2011); Eugenio Bianchi şi You Ding, „Lorentzian Spinfoam Propagator“, arXiv:1109. 6538v2 [gr-qc] (2011); John W. Barrett, Richard J. Dowdall, Winston J. Fairbairn, Frank Hellmann, Roberto Pereira, „Lorentzian Spin Foam Amplitudes: Graphical Calculus and Asymptotics“, arXiv:0907. 2440; Florian Conrady şi Laurent Freidel, „On the Semiclassical Limit of 4d Spin Foam Models“, arXiv:0809.2280v1 [gr-qc] (2008); Lee Smolin, „General Relativity as the Equation of State of Spin Foam“, arXiv:1205. 5529v1 [gr-qc] (2012).

12. În limbaj tehnic, dualul unei triangulații a unei varietăți tridimensionale.
13. Vezi Fotini Markopoulou şi Lee Smolin, „Disordered Locality in Loop Quantum Gravity States“, arXiv:gr-qc/0702044v2 (2007).
14. Ideea aceasta defineşte un program de cercetare la care am lucrat, cu intermitențe, timp de mai mulți ani. Vezi Markopoulou şi Smolin, „Quantum Theory from Quantum Gravity“, arXiv:grqc/0311059v2 (2004). Vezi de asemenea: Julian Barbour şi Lee Smolin, „Extremal Variety as the Foundation of a Cosmological Quantum Theory“, arXiv:hep-th/9203041v1 (1992);
Lee Smolin, „Matrix Models as Nonlocal Hidden Variables Theories“, arXiv:hepth/0201031v1 (2002);
—, „Quantum Fluctuations and Inertia“, *Phys. Lett. A*, 113:8, 408–412 (1986);
—, „On the Nature of Quantum Fluctuations and Their Relation to Gravitation and the Principle of Inertia“, *Class. Quant. Grav.* 3: 347–359 (1986);
—, „Stochastic Mechanics, Hidden Variables, and Gravity“, în *Quantum*

Concepts in Space and Time, ed. R. Penrose şi C.J. Isham (New York: Oxford University Press, 1986);
—, „Derivation of Quantum Mechanics from a Deterministic Nonlocal Hidden Variable Theory. 1. The Two-Dimensional Theory“, IAS preprint, iulie 1983. http://inspirehep.net/record/191936.
15. Chanda Prescod-Weinstein şi Lee Smolin, „Disordered Locality as an Explanation for the Dark Energy“, arXiv:0903.5303v3 [hep-th] (2009).
16. Materia întunecată este un tip ipotetic de materie care nu emite deloc lumină, dar e necesară pentru a explica rotația galaxiilor pe baza legilor lui Newton.
17. Lee Smolin, „Fermions and Topology“, arXiv:gr-qc/9404010v1 (1994).
18. C.W. Misner şi J.A. Wheeler, *Ann. Phys. (U.S.A.)* 2, 525–603 (1957), retipărit în *Wheeler Geometrodynamics* (New York: Academic Press, 1962).
19. Fotini Markopoulou, „Conserved Quantities in Background Independent Theories“, arXiv:gr-qc/0703027v1 (2007).
20. Francesco Caravelli şi Fotini Markopoulou, „Disordered Locality and Lorentz Dispersion Relations: An Explicit Model of Quantum Foam“,

arXiv:1201.3206v3 (2012); Caravelli şi Markopoulou, „Properties of Quantum Graphity at Low Temperature“, arXiv:1008.1340v3 (2011); Caravelli *et al.*, „Trapped Surfaces and Emergent Curved Space in the Bose-Hubbard Model“, arXiv:1108.2013v3 (2011); Florian Conrady, „Space as a Low-temperature Regime of Graphs“, arXiv:1009.3195v3 [grqc] (2011). O altă abordare a geometrogenezei se găseşte în Joao Magueijo, Lee Smolin şi Carlo R. Contaldi, „Holography and the Scale-Invariance of Density Fluctuations“, arXiv:astro-ph/0611695v3 (2006).

21. Grafurile şi triangulațiile sunt strâns înrudite. Dată fiind o triangulație, se poate forma un graf în care nodurile reprezintă tetraedrele, iar două noduri sunt conectate printr-o muchie dacă tetraedrele corespunzătoare au o față comună.
22. Figura arată un univers cuantic cu o dimensiune spațială şi una temporală, preluată din R. Loll, J. Ambjorn, K.N. Anagnostopoulos, „Making the Gravitational Path Integral More Lorentzian, or: Life Beyond Liouville

Gravity“, arXiv:hepth/9910232, *Nucl.Phys.Proc.Suppl.* 88, 241–244 (2000). Folosit cu permisiune.
23. Alioscia Hamma *et al.*, „Lieb-Robinson Bounds and the Speed of Light from Topological Order“, arXiv:0808.2495v2 (2008).

16. VIAȚA ŞI MOARTEA UNIVERSULUI

1. Richard Dawkins, *Climbing Mount Improbable* (New York: W.W. Norton, 1996).
2. Fluctuație este unul dintre acele cuvinte folosite de fizicieni care-i pot deruta pe profani. O fluctuație e o mică schimbare aleatorie într-o mică parte a unui sistem. O fluctuație poate dezordona un sistem, ca atunci când o picătură de vopsea de pe pensulă ruinează un portret pictat cu migală. Dar o fluctuație poate duce de asemenea la un grad mai înalt de organizare, ca atunci când o mutație rezultată dintr-o schimbare aleatorie într-o moleculă de ADN produce un animal mai bine adaptat.
3. E interesant de observat că molecule organice (sau prebiotice) au fost detectate nu doar pe Pământ, ci şi în meteoriți, comete şi nori interstelari de praf şi gaz.

4. Deoarece logaritmul lui 1 este 0. Din motive tehnice, de regulă definim entropia ca logaritmul numărului de microstări echivalente.
5. „Uber die von der molekularkinetischen Theorie der Warme geforderte Bewegung von in ruhenden Flussigkeiten suspendierten Teilchen“, *Ann. der Phys.* 17 (8): 549–560 (1905).
6. Martin J. Klein, *Paul Ehrenfest: The Making of a Theoretical Physicist* (New York: Elsevier, 1970).
7. Vezi, de exemplu, *Time's Arrow*, de Martin Amis, sau *The Curious Case of Benjamin Button*, un film bazat pe o povestire a lui F. Scott Fitzgerald.
8. Multe mulțumiri lui Steven Weinstein de la Universitatea Waterloo pentru discuțiile în care m-a convins de importanța săgeții electromagnetice a timpului. Articolul său din 2011, „Electromagnetism and Time-Asymmetry“, arXiv:1004.1346v2, a influențat puternic secțiunea următoare.
9. Roger Penrose, „Singularities and Time-Asymmetry“, în S.W. Hawking şi W. Israel, ed., *General Relativity: An Einstein Centenary Survey* (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1979), pp. 581–638.

10. Mulți fizicieni şi filozofi s-au întrebat dacă există într-adevăr mai multe săgeți ale timpului distincte. S-ar putea ca una sau mai multe săgeți să fie explicate cu ajutorul celorlalte? Săgeata cosmologică a timpului probabil că nu e înrudită cu celelalte. Este uşor să ne imaginăm un univers care s-a extins atât de rapid încât nici o structură legată gravitațional n-a avut timp să se formeze. Un astfel de univers ar rămâne veşnic în echilibru, şi ca atare nu ar avea o săgeată termodinamică a timpului. Aşadar faptul că universul e în expansiune nu este, de unul singur, suficient pentru a explica săgeata termodinamică a timpului.

Este de asemenea posibil să ne imaginăm un univers care se extinde până la dimensiunea sa maximă, după care colapsează. Din câte ştim acum, nu trăim într-un asemenea univers, dar există soluții ale ecuațiilor relativității generale care se comportă în felul acesta. Ar fi o lume în care săgeata cosmologică a timpului se inversează la jumătatea drumului. S-ar inversa atunci şi săgeata termodinamică a timpului, încât pe neaşteptate laptele vărsat să revină în pahar şi Humpty-Dumpty[24] să se

reasambleze singur? Scriitorilor de science-fiction le place să-şi imagineze aşa ceva, dar e extrem de neplauzibil.
În schimb, e posibil ca săgeata biologică a timpului să fie o consecință a săgeții termodinamice. Îmbătrânim, se afirmă, fiindcă dezordinea se acumulează în celulele noastre. Se recurge de asemenea la săgeata termodinamică pentru a explica cel puțin în parte săgeata existențială. Ne amintim trecutul, şi nu viitorul fiindcă memoria este o formă de organizare, iar organizarea scade în viitor – sau cel puțin aşa se afirmă.
În sfârşit, poate fi redusă săgeata termodinamică a timpului la alegerea condițiilor inițiale? Aceasta a fost propunerea lui Penrose, care a arătat că ipoteza lui despre curbura Weyl ar putea explica săgeata termodinamică a timpului deoarece un univers care inițial nu conține găuri negre sau albe are o entropie mult mai scăzută decât dacă ar fi umplut în mod aleatoriu cu astfel de obiecte. El se bazează aici pe ideea că găurile negre au entropie, un fapt uimitor descoperit de Jacob Bekenstein în 1972 şi dezvoltat de Stephen Hawking curând după aceea. Găurile negre au cantități enorme de

entropie, fiindcă cel mai ireversibil lucru pe care-l poți face e să arunci ceva într-o gaură neagră. Luând în considerare imensa cantitate de entropie din toate găurile negre care ar fi putut să existe la începutul universului, dar nu au existat, universul actual, fără găuri negre inițiale, a pornit dintr-o stare cu entropie aproape minimă.

Propunerea lui Penrose are succes atâta vreme cât menținem condiția ca universul să se extindă suficient de lent şi de uniform încât să se poată forma structuri legate gravitațional. Din această perspectivă, un univers complex e extrem de improbabil, deoarece majoritatea condițiilor inițiale ar duce la un univers care a pornit şi a rămas în echilibru. El ar fi plin cu lumină şi unde gravitaționale prezente dintru început şi care nu poartă imagini ale trecutului sau viitorului. Găurile negre şi găurile albe ar domina de la bun început. Într-o lume guvernată de legi cu simetrie temporală, explicația de ce trăim într-un univers complex se bazează în mare măsură pe alegerea extrem de improbabilă a unor condiții inițiale asimetrice în raport cu timpul.

11. Legea fundamentală asimetrică în raport cu timpul ar trebui să conducă la legi cu simetrie temporală atunci când e aproximată de o teorie efectivă la energii joase şi departe de regiunile unde curbura spațiului-timp e mare. Asimetria temporală ar fi deci foarte pronunțată în universul foarte timpuriu, ceea ce ar explica nevoia unor condiții cosmologice inițiale extrem de asimetrice în timp.
12. De reținut că vorbim despre proprietăți ale întregului univers, care nu sunt şi proprietățile unor mici subsisteme ale sale. Putem întotdeauna aplica teoria probabilităților unor mici subsisteme sau regiuni ale universului, dar acestea nu epuizează tot ce vrem să ştim despre univers.
13. Bineînțeles, dacă timpul este infinit, fluctuații de orice mărime se întâmplă de o infinitate de ori. Aceasta face ca afirmația că fluctuațiile mai rare se întâmplă de mai puține ori să fie înşelătoare, deoarece raportul a două mărimi infinite e nedefinit.

17. TIMPUL RENĂSCUT DIN CĂLDURĂ ŞI LUMINĂ

1. Cititorul s-ar putea întreba dacă principiul lui Leibniz al identității indiscernabilelor contrazice statistica Bose, care permite şi încurajează bozonii să împartă aceeaşi stare cuantică. Un răspuns scurt, expus mai pe larg în anexele online, este că principiul lui Leibniz interzice ca două evenimente să aibă aceleaşi valori probabile ale câmpurilor cuantice.
2. Aşa cum am subliniat în capitolul 10, aceasta interzice ca universul să fie perfect simetric.
3. Pentru mai multe amănunte despre auto-organizare, vezi cărțile lui Bak, Kauffman şi Morowitz din bibliografie. O versiune a principiului auto-organizării induse este teorema ciclului descrisă în cartea lui Morowtiz, o alta este fenomenul stării critice auto-organizate [*self-organized criticality*] prezentat în cartea lui Bak.
4. Julian Barbour şi Lee Smolin, „Variety, Complexity and Cosmology“, hep-th/9203041.
5. Alan Turing, „The Chemical Basis of Morphogenesis“, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* 237:641, 37–72 (1952).

18. SPAȚIU INFINIT, SAU TIMP INFINIT?

1. E un lucru uimitor, dar există o explicație simplă. Pentru detalii, vezi cea mai recentă carte a lui Brian Greene, *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos* (New York: Knopf, 2011), sau o discuție în anexele online.
2. Să ne imaginăm un plan bidimensional. Să alegem un punct, apoi o direcție din acel punct. Aceasta defineşte o dreaptă în plan. Să urmărim până unde merge dreapta. Ea merge o distanță infinită, dar în ochiul minții unui matematician ea merge totuşi undeva. Locul unde merge se numeşte *punctul de la infinit*. Să alegem o altă direcție din acelaşi punct inițial. Obținem o altă dreaptă. S-o urmăm până unde merge; ea ne duce la un alt punct de la infinit. Punctele de la infinit formează un cerc. Direcțiile în care poți merge pornind dintr-un punct în plan definesc un cerc. Urmând acele direcții până unde duc ele, ajungem la granița punctelor de la infinit. Acelaşi lucru se obține într-un spațiu tridimensional plat, atâta doar că punctele de la infinit formează o sferă. La fel şi dacă spațiul e infinit, dar are o curbură negativă, arătând ca o şa.

Dacă vrem să rezolvăm ecuațiile relativității generale, trebuie să dăm informații despre ce se întâmplă la acea graniță. Trebuie să precizăm ce intră şi ce iese prin ea. Informațiile despre ce se petrece la granița de la infinit nu sunt opționale; ele sunt cerute de teorie. (Pentru specialişti, ecuațiile lui Einstein pentru un univers infinit în spațiu nu pot fi deduse dintr-un principiu variațional dacă acțiunii nu i se adaugă termeni pe graniță şi nu se precizează condiții pe granița de la infinit în spațiu.) Nu putem descrie ce este în univers fără să spunem ce intră şi ce iese din el prin graniță. Chiar dacă granița este infinit de departe.

3. În practica relativității generale, folosim adesea spații cu granițe la infinit ca modele convenabile pentru sisteme izolate. Să considerăm o galaxie. În realitate, ea este o mică parte a universului, dar pentru unele scopuri o putem considera izolată; de exemplu, pentru a modela interacțiunea găurii negre din centrul galaxiei cu stelele din discul galactic. Trasăm aşadar o graniță în jurul galaxiei şi construim o soluție a relativității generale care conține numai ce este în interiorul acelei granițe. Dar există

unele dificultăți tehnice în privința informației care trebuie precizată pe o graniță finită. De aceea, din motive care țin doar de comoditatea tehnică, idealizăm situația şi împingem granița la infinit. Aceasta simplifică mult descrierea, deoarece putem impune condiția ca toată materia din model să fie conținută în acea unică galaxie. Nimic nu poate intra sau ieşi, cu excepția undelor gravitaționale şi a luminii, de care ne putem folosi pentru a observa galaxia.

Genul acesta de utilizare a spațiilor infinite este pragmatic şi nu i se poate aduce nici o obiecție. Faptul că trebuie să specificăm o informație care intră prin granița de la infinit ne aminteşte că avem de-a face cu o idealizare în care decupăm o parte a universului şi o descriem ca şi cum ar fi tot ce există. Dar e absurd să modelăm întregul univers de parcă ar avea o graniță exterioară, care necesită specificarea unor informații provenind din exteriorul universului infinit. Şi totuşi asta trebuie să facem dacă folosim relativitatea generală drept teorie cosmologică şi considerăm că universul este infinit în spațiu.

4. Pentru mai multe detalii despre aceste cosmologii ciclice, vezi Paul J. Steinhardt şi Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (New York: Doubleday, 2007).
5. Martin Bojowald, „Isotropic Loop Quantum Cosmology“, arXiv:gr-qc/0202077v1 (2002);
   —, „Inflation from Quantum Geometry“, arXiv:gr-qc/0206054vi (2002);
   —, „The Semiclassical Limit of Loop Quantum Cosmology“, arXiv:gr-qc/0105113v1 (2001);
   —, „Dynamical Initial Conditions in Quantum Cosmology“, arXiv: gr-qc/0104072v1 (2001); şi Shinji Tsujikawa, Parampreet Singh şi Roy Maartens, „Loop Quantum Gravity Effects on Inflation and the CMB“, arXiv:astro-ph/0311015v3 (2004).
6. Jean-Luc Lehners, „Diversity in the Phoenix Universe“, arXiv:1107. 4551v1 [hep-ph] (2011).
7. Roger Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe* (New York: Knopf, 2011).
8. Afirmații că au fost detectate cercuri se găsesc în:

V.G. Gurzadyan şi R. Penrose, „CCC-Predicted Low-Variance Circles in CMB Sky and LCDM“, arXiv:1104.5675v1 [astro-ph.CO] (2011);
—, „More on the Low-Variance Circles in CMB Sky“, arXiv:1012. 1486v1 [astro-ph.CO] (2010);
—, „Concentric Circles in WMAP Data May Provide Evidence of Violent Pre–Big-Bang Activity“, arXiv:1011.3706v1 [astro-ph.CO] (2010).
O serie de articole susțin că acesta e compatibilă cu zgomotul:
I.K. Wehus şi H.K. Eriksen, „A Search for Concentric Circles in the 7-Year WMAP Temperature Sky Maps“, arXiv:1012.1268v1 [astro-ph. CO] (2010); Adam Moss, Douglas Scott, şi James P. Zibin, „No Evidence for Anomalously Lowvariance Circles on the Sky“, arXiv:1012.1305v3 [astro-ph.CO] (2011); şi Amir Hajian, „Are There Echoes from the Pre–Big Bang Universe? A Search for Low-Variance Circles in the CMB Sky“, arXiv:1012.1656v1 (2010).

19. VIITORUL TIMPULUI

1. Ideea aceasta e înfăptuită într-un model în Lee Smolin, „Matrix Universality of Gauge and Gravitational Dynamics“, arXiv:0803.2926v2 [hep-th] (2008).
2. —, „Unification of the State with the Dynamical Law“, arXiv:1201. 2632v1 [hep-th] (2012).
3. Wheeler a spus de asemenea: „Nici un fenomen nu este un fenomen real până când nu e un fenomen observat.“ Trebuie să spun că pe măsură ce mă maturizez apreciez din ce în ce mai mult afirmațiile sale enigmatice şi provocatoare.

EPILOG

1. Pentru mai multe informații despre concepția expusă aici, vezi Lee Smolin, „Time and Symmetry in Models of Economic Markets“, arXiv:0902.4274v1 [q-fin.GN] (2009).
2. Pentru o introducere în economia neoclasică, vezi Ross M. Starr, *General Equilibrium Theory*, ed. a II-a (New York: Cambridge University Press, 2011).
3. Aceasta reiese din teorema Sonnenschein-Mantel-Debreu, sau „teorema *anything goes*“, demonstrată în 1972 de trei economişti foarte influenți. Unul dintre ei este Hugo Sonnenschein, care nu e doar

membru al şcolii de economie din Chicago, dar a fost şi preşedintele acelei universități. Hugo Sonnenschein, „Market Excess Demand Functions“, *Econometrica*, 40:3, 549–563 (1972). Debreu, G., „Excess Demand Functions“, *Journal of Mathematical Economics* 1: 15–21 (1974), doi: 10.1016/0304-4068(74)90032-9; R. Mantel, „On the Characterization of Aggregate Excess Demand“, *Jour. of Econ. Theory* 7: 348–353 (1974), doi:10.1016/0022-0531(74)90100-8.

4. W. Brian Arthur, „Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events“, *Econ. Jour.* 99:394, 116–131 (1989).
5. Pia Malaney, „The Index Number Problem: A Differential Geometric Approach“, Teză de doctorat la Harvard, 1996.
6. Ideile lui Malaney şi Weinstein l-au îndemnat pe Samuel Vazquez, pe atunci cercetător postdoctoral la Institutul Perimeter, să măsoare dependența de drum în date despre piața reală. Ce a făcut el era imposibil şi eretic în cadrul teoriei economice neoclasice, şi totuşi din datele reale reieşea că existența unor fonduri cu

strategii de arbitraj pe termen lung sau scurt care au avut succes dovedeşte că piața are într-adevăr curbură, şi deci dependență de drum. Samuel E. Vazquez şi Simone Farinelli, „Gauge Invariance, Geometry and Arbitrage“, arXiv:0908.3043v1 [q-fin.PR] (2009).

7. Vince Darley şi Alexander V. Outkin, *A NASDAQ Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems* (World Scientific, 2007).
8. Eu văd începuturile acestei concepții comune în faptul că biologul teoretician Stuart Kauffman şi filozoful juridic Roberto Mangabeira Unger vorbesc amândoi despre necesitatea de a fomula domeniile lor în termenii posibilului adiacent – următorul set de paşi – mai degrabă decât în spațiile atemporale abstracte ale tuturor configurațiilor posibile.
9. Implicațiile acestor două principii sunt dezvoltate în continuare în capitolul 17 al cărții mele din 2006 *The Trouble with Physics*.
10. De remarcat că relațiile sunt exact ceea ce exprimă matematica. Numerele nu au o esență intrinsecă, nici punctele din spațiu;

ele sunt definite în întregime prin locul lor într-un sistem de numere sau de puncte – toate proprietățile acestora fiind legate de relațiile lor cu alte numere sau puncte. Aceste relații sunt determinate de axiomele care definesc un sistem matematic. Dacă materia nu se reduce la relații şi interacțiuni, ce este în plus depăşeşte domeniul matematicii.

11. James George este autorul cărților *Asking for the Earth* (Barrytown NY: Station Hill Press, 2002) şi *The Little Green Book on Awakening* (Barrytown NY: Station Hill Press, 2009). El este de asemenea cofondator al Threshold Foundation şi preşedinte al Sadat Peace Foundation, şi a condus misiunea internațională în Kuwait pentru evaluarea daunelor în urma Războiului din Golful Persic.

---

24. Personaj fictiv, un ou mare cu trăsături umane, din romanul pentru copii *Through the Looking-Glass* (1871) al scriitorului şi matematicianului englez Lewis Carroll (1832–1898) (n. tr.).

Bibliografie

Iată o selecție de cărți, majoritatea de popularizare, pe tema timpului în fizică sau cosmologie (şi subiecte înrudite), multe dintre ele prezentând idei alternative sau în contradicție cu cele propuse de mine în aceste pagini.

Guido Bacciagaluppi şi Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference* (New York: Cambridge University Press, 2009).

Per Bak, *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality* (New York: Copernicus, 1996).

Julian B. Barbour, *The End of Time: The Next Revolution in Physics* (New York: Oxford University Press, 2000).

—, *The Discovery of Dynamics: A Study from a Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamical Theories* (New York: Oxford University Press, 2001).

J.S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, ed. a II-a (New York: Cambridge University Press, 2004).

James Robert Brown, *Platonism, Naturalism, and Mathematical Knowledge* (Oxford, U.K.: Routledge, 2011).

Bernard Carr, ed., *Universe or Multiverse?* (New York: Cambridge University Press, 2007).

Sean Carroll, *From Eternity to Here: The Quest for the Ultimate Arrow of Time* (New York: Dutton, 2010).

P.C.W. Davies, *The Physics of Time Asymmetry* (San Francisco: University of California Press, 1974).

David Deutsch, *The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes — and Its Implications* (New York: Allen Lane/Penguin Press, 1997).

Dan Falk, *In Search of Time: The History, Physics and Philosophy of Time* (New York: St. Martin's, 2010).

Adam Frank, *About Time: Cosmology and Culture at the Twilight of the Big Bang* (New York: Free Press, 2011).

Rodolfo Gambini şi Jorge Pullin, *A First Course in Loop Quantum Gravity* (New York: Oxford University Press, 2011).

Marcelo Gleiser, *A Tear at the Edge of Creation: A Radical New Vision for Life in an Imperfect Universe* (New York: Free Press, 2010).

Brian Greene, *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos* (New York: Knopf, 2011) [*Realitatea ascunsă: Universurile paralele şi legile profunde ale cosmosului*, trad. de Amalia Mărăşescu, Ed. Paralela 45, 2012].

Stephen W. Hawking şi Leonard Mlodinow, *The Grand Design* (New York: Bantam, 2010) [*Marele plan*, trad. de Anca Vişinescu şi Mihai Vişinescu, Ed. Humanitas 2012].

Stuart A. Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity* (New York: Oxford University Press, 1995).

—, *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution* (New York: Oxford University Press, 1993).

Helge Kragh, *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology* (New York: Oxford University Press, 2011).

Janna Levin, *How the Universe Got Its Spots: Diary of a Finite Time in a Finite Space* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002).

Joao Magueijo, *Faster than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation* (Cambridge, MA: Perseus, 2003).

Roberto Mangabeira Unger, *The Self Awakened: Pragmatism Unbound* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2007).

Harold Morowitz, *Energy Flow in Biology,* (New York: Academic Press, 1968).

Richard Panek, *The 4-Percent Universe: Dark Matter, Dark Energy, and the Race to Discover the Rest of Reality* (Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt, 2011).

Roger Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe* (New York: Knopf, 2011).

—, *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe* (New York: Knopf, 2005).

—, *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics* (New York: Oxford University Press, 1989) [*Mintea noastră cea de toate zilele: Despre gândire, fizică şi*

calculatoare, trad. de Cornelia C. Rusu şi Mircea V. Rusu, Ed. Tehnică, Bucureşti, 2001].

Huw Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time* (New York: Oxford University Press, 1996).

Lisa Randall, *Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions* (New York: Ecco/HarperCollins, 2005).

Carlo Rovelli, *The First Scientist: Anaximander and His Legacy* (Yardley, PA: Westholme Publishing, 2011).

Simon Saunders *et al.*, ed., *Many Worlds? Everett, Quantum Theory, and Reality* (New York: Oxford University Press, 2010).

Lee Smolin, *The Life of the Cosmos* (New York: Oxford University Press, 1997).

—, *Three Roads to Quantum Gravity* (New York: Basic Books, 2001) [*Spațiu, timp, univers: Trei drumuri către gravitația cuantică*, trad. de Anca Vişinescu, Humanitas, 2006].

—, *The Trouble with Physics* (Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt, 2006).

Paul J. Steinhardt şi Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (New York: Doubleday, 2007).

Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005) [*Peisajul cosmic: Teoria corzilor şi iluzia unui plan inteligent*, trad. de Irinel Caprini, Humanitas, Bucureşti, 2012].

Alex Vilenkin, *Many Worlds in One: The Search for Other Universes* (New York: Hill & Wang, 2006).

Mulțumiri

Scrierea acestei cărți a fost o mare aventură, ea reflectând interesul meu de-o viață pentru natura timpului. Asemenea oricărui călător, datorez enorm multor oameni care m-au ajutat, încurajat, călăuzit, şi uneori condus în călătoria aceasta.

Aventura a început în vara anului 1980, pe când studiam la Oxford ca invitat al lui Roger Penrose. Roger mi-a spus că dacă mă preocupa într-adevăr natura timpului trebuia să discut cu un cercetător pe nume Julian Barbour, care locuia şi lucra într-un orăşel din apropiere de Oxford. Aranjamentele au fost făcute şi împreună cu filozoful ştiinței Amelia Rechel-Cohn l-am vizitat. În decursul acelor discuții, Julian a început să mă inițieze într-ale filozofiei, prezentându-mi scrierile lui Leibniz şi ideile de spațiu şi timp relațional. Am fost printre primii, dar nici pe departe ultimul tânăr fizician căruia îndrumarea lui Julian i-a lărgit orizontul şi i-a orientat gândirea în direcția corectă.

Călătoria a luat o turnură neaşteptată în 1986, când Andrew Strominger mi-a vorbit

despre descoperirea de către el a unui număr enorm de teorii ale corzilor şi despre îngrijorarea lui că abundența aceasta va zădărnici orice încercare de a deduce Modelul Standard al fizicii particulelor din principii pure. Meditând la asta, mi-am imaginat un peisaj al teoriei corzilor similar cu peisajul adaptiv din biologie, în care evoluția legilor ar fi guvernată de un mecanism analog selecției naturale. Încurajat, scurt timp înainte de moartea ei prematură, de draga mea prietenă medicul şi dramaturgul Laura Kuckes, am elaborat ideea selecției naturale cosmologice, pe care am publicat-o în 1992 şi am prezentat-o în prima mea carte, *The Life of the Cosmos*.

În timp ce terminam lucrul la acea carte, o altă prietenă, Drucilla Cornell, mi-a spus să-l citesc pe filozoful brazilian Roberto Mangabeira Unger, care într-o carte despre teoria socială a pledat de asemenea pentru evoluția legilor în cosmologie. Ea ne-a pus în legătură, iar după o conversație captivantă în biroul lui de la Harvard, mi-a propus să colaborăm la o carte riguros academică despre implicațiile realității timpului şi ale evoluției legilor. Acel proiect, în desfăşurare în ultimii cinci ani, a fost principalul stimulent şi vehicul pentru dezvoltarea

ideilor din cartea de față. Mulțumită în primul rând gândirii clare şi stimulative a lui Roberto, am ajuns în cele din urmă să apreciez radicalismul propunerii că timpul este real. Ideea centrală a epilogului – că un viitor deschis trebuie să îndemne oamenii să caute soluții noi pentru problemele la toate dimensiunile – a fost inspirată în mare măsură de scrierile sale. Cititorilor care doresc o formulare mai riguroasă a argumentelor schițate le sugerez cartea în curs de apariție, intitulată provizoriu *The Singular Universe and the Reality of Time*.[25]

Tot în 1986, am început să lucrez la cuantificarea noii formulări a relativității generale inventată în anul precedent de Abhay Ashtekar. Aceasta a dus la descoperirea gravitației cuantice cu bucle, pe care am înfăptuit-o în colaborare cu Carlo Rovelli. Activitatea noastră a fost stimulată şi elaborată prin discuțiile constante despre natura timpului cu Abhay şi Carlo, precum şi cu Louis Crane, Ted Jacobson, Chris Isham, Laurent Freidel, Joao Magueijo, Fotini Markopoulou, Giovanni Amelino-Camelia, Jerzy Kowalski-Glikman şi Renate Loll, între mulți alții. Am ajuns mai târziu decât unii prieteni de-ai mei la ideea că relativitatea simultaneității va trebui abandonată la scară

cosmologică. Antony Valentini a înțeles cu mulți ani în urmă că acesta era prețul plătit pentru adoptarea unei teorii cu variabile ascunse, iar Joao Magueijo era deja pornit să încalce relativitatea când ne-am întâlnit la Londra în 1999. Fotini Markopoulou a fost prima care a subliniat importanța problemei inverse şi a pledat convingător pentru o abordare a gravitației cuantice în care timpul este fundamental şi spațiul este emergent, iar principalele idei din capitolul 15, între care violarea caracterului local şi geometrogeneza, i se datorează.

Deşi sunt fizician, am avut şansa să fiu un oaspete frecvent în casa filozofiei ştiinței, unde mi-am făcut mulți prieteni care, de-a lungul anilor, au ascultat cu răbdare şi au citit cu ochi critic încercările mele de a gândi clar despre natura timpului. Printre aceştia se numără Simon Saunders, Steve Weinstein, Harvey Brown, Patricia Marino, Jim Brown, Jenan Ismael, Cheryl Misak, Ian Hacking, Joseph Berkovitz şi Jeremy Butterfield, precum şi primul meu profesor de filozofie a fizicii, Abner Shimony. Julian Barbour, Jim Brown, Drucilla Cornell, Jenan Ismael, Roberto Mangabeira Unger şi Simon

Saunders au avut amabilitatea să citească în întregime ciornele şi să-mi ofere un feedback esențial.

Le sunt recunoscător lui Sean Carroll, Matt Johnson, Paul Steinhardt, Neil Turok şi Alex Vilenkin, ale căror conversații şi comentarii asupra ciornelor capitolelor m-au pus pe drumul cel bun în problemele cosmologice. Cercetările mele privind bazele fizicii cuantice prezentate aici datorează mult interacțiunilor cu comunitatea teoreticienilor de la Institutul Perimeter, în special Chris Fuchs, Lucien Hardy, Adrian Kent, Markus Muller, Rob Spekkens şi Antony Valentini.

Încurajări decisive şi observații critice legate de primele schițe, pe lângă multe altele, mi-au fost oferite, ca întotdeauna, de Saint Clair Cemin, Jaron Lanier şi Donna Moylan.

Atenția acordată în epilog schimbării climei a fost inspirată şi susținută de un seminar despre comportamentul de prag în ştiințele politice, organizat în asociere cu Thomas Homer-Dixon de la Balsillie School of International Affairs. Îi sunt recunoscător lui Tad şi altor participanți, în special Manjanei Milkoreit şi Tatianei Barlyaeva, pentru discuțiile şi colaborările pe această temă.

Pentru o inițiere în economie, reflectată şi în epilog, le mulțumesc acelora care au lucrat împreună cu mine la organizarea unei conferințe despre Criza Economică şi Implicațiile sale pentru Ştiințele Economice, ținută la Institutul Perimeter în mai 2009; şi altora pe care i-am întâlnit la conferință şi ca urmare a acesteia, în special lui Brian Arthur, Mike Brown, Emanuel Derman, Doyne Farmer, Richard Freeman, Pia Malaney, Nassim Taleb şi Eric Weinstein.

Pentru prietenia şi colaborarea lor şi pentru opiniile privind auto-organizarea, le sunt profund îndatorat lui Stu Kauffman şi Per Bak.

Le sunt veşnic recunoscător lui Howard Burton şi Mike Lazaridis pentru onoarea şi ocazia unică de a ajuta la înființarea Institutul Perimeter pentru Fizică Teoretică, şi îi sunt de asemenea recunoscător lui Neil Turok pentru permanentele sale încurajări ale eforturilor noastre de a face progrese şi descoperiri. Fiecare om de ştiință şi savant ar trebui să aibă norocul pe care l-am avut eu de a găsi un cămin intelectual atât de stimulativ, divers şi susținător al marilor ambiții precum Institutul Perimeter.

Lucrările mele de fizică au fost generos finanțate de NSF, NSERC, Fundația Jesse

Philips, Fqxi[26] şi Fundația Templeton; tuturor le sunt foarte recunoscător pentru prilejul de a-mi efectua cercetările, precum şi de a susține şi îndruma tineri oameni de ştiință promițători.

Cartea aceasta a devenit mult mai bună grație comentariilor primilor cititori, care mi-au oferit un feedback privind întregul manuscris sau unele părți ale sale. Pe lângă cei deja menționați, printre aceştia se numără Jan Ambjorn, Brian Arthur, Krista Blake, Howard Burton, Marina Cortes, Emanuel Derman, Michael Duschenes, Laurent Freidel, James George, Dina Graser, Thomas Homer-Dixon, Sabine Hossenfelder, Tim Koslowski, Renate Loll, Fotini Markopoulou, Catherine Paleczny, Nathalie Quagliotto, Henry Reich, Carlo Rovelli, Pauline Smolin, Michael Smolin, Rita Tourkova, Antony Valentini, Natasha Waxman şi Ric Young.

Sunt unul dintre acei autori cărora le place să fie editați – fiindcă sunt acut conştient că am de câştigat din asta. Nici o carte de-a mea n-a beneficiat de editori mai devotați. Concepția cărții se datorează eforturilor Amandei Cook, acum la Crown Publishing, căreia îi sunt îndatorat pentru încrederea în proiect şi pentru convingerea ei că a meritat

timpul petrecut cu cizelarea şi concentrarea sa. Courtney Young, de la Houghton Mifflin Harcourt, şi Sara Lippincott, cu numeroasele lor comentarii şi sugestii, au fost cei mai buni editori pe care şi-i poate dori un autor. Cartea a avut mult de câştigat şi de pe urma observațiilor Louisei Dennys, de la Knopf Canada. Îi sunt îndatorat lui Thomas Penn pentru încurajările sale în momente cruciale. Îi sunt de asemenea foarte recunoscător lui Henry Reich, care a desenat multe dintre figuri. La fel ca în cazul tuturor cărților mele, datorez o enormă recunoştință lui John Brockman, Katinka Matson şi Max Brockman; fără încrederea lor în ea, cartea aceasta n-ar fi existat.

Mulțumirile mele lui Rodila Gregorio pentru permanentele lecții de răbdare, eleganță şi responsabilitate afectuoasă – şi lui Kai, de la care am învățat tot ce ştiu despre timp şi nu e discutat aici. Mulțumiri lui Pauline, Mike şi Lorna pentru iubirea şi încrederea lor în mine. În sfârşit, cuvintele sunt insuficiente pentru a exprima mulțumirile mele Dinei, care cu infinită iubire şi răbdare m-a ajutat să rezist presiunilor în încercarea de a termina la timp o carte despre timp.

25. Roberto Mangabeira Unger şi Lee Smolin, *The Singular Universe and the Reality of Time: a Proposal in Natural Philosophy*, Cambridge University Press, 2015 (n. tr.).

26. The Foundational Questions Institute, organizație independentă care oferă subsidii pentru cercetări asupra unor probleme fundamentale din domeniul fizicii şi al cosmologiei. A fost înființată în 2005 de cosmologii Max Tegmark şi Anthony Aguirre (n. tr.).